МАССОВАЯ
РАДИО-БИБЛИОТЕКА

С. С. ВАЙНШТЕЙН

ЧТО ТАКОЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТРУБКА И ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОСКОП



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

Примеры цоколевки электроннолучевых трубок

Наименование электродов	Условное обозначение
Накал	H
Катод	K
Модулятор (управляющий электрод)	M
I—анод	A_1
II—анод	A_2
III—анод	A_3
Горизонтально отклоняющие пластины	$Д_1, Д_2$
Вертикально отклоняющие пластины	$Д_3, Д_4$

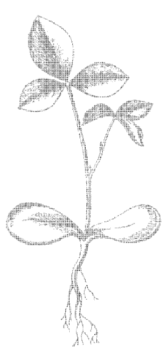
Цоколь	№ штырьков / Тип трубок	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Вывод на баллоне
I	ЛО-729	H	K	M	—	A_1	—	$Д_3$	$Д_4$	A_2	$Д_2$	$Д_1$	—	—	H	A_3
	ЛО-737	H	K	M	—	A_1	—	$Д_3$	$Д_4$	A_2	$Д_2$	$Д_1$	—	—	H	
II	ЛК-715	H	—	K	—	—	M	—	H							A
	ЛК-726	H	—	K	—	—	M	—	H							

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 35

С. С. ВАЙНШТЕЙН

ЧТО ТАКОЕ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВАЯ ТРУБКА И ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОСКОП





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1949 ЛЕНИНГРАД

В брошюре дается описание в популярной форме устройства электроннолучевой трубки и принципов ее работы. Подробно описывается использование электроннолучевой трубки в осциллоскопе и приводятся примеры использования его для измерительных целей. Описывается, как электроннолучевая трубка используется в телевидении и радиолокации.

Брошюра предназначается для начинающих радиолюбителей.

Редактор *А. Д. Смирнов* Техн. редактор *Г. Б. Фомилиант*

Сдано в набор 20/XII 1948 г. Подписано к печати 3/VIII 1949 г.
Объем 4 п. л. 4 уч.-авт. л. Формат бумаги 84×108 1/32
А-09652 Тираж 25 000 Цена 2 руб. Заказ 1351

Типография Госэнергоиздата МЭС. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

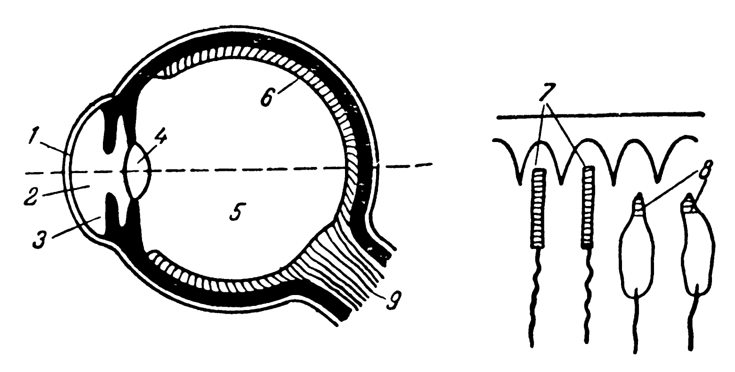
На протяжении сотен лет человек стремился вооружить свое зрение, чтобы проникнуть в тайны природы. Он изобрел лупу и бинокль, микроскоп и телескоп и много других оптических приборов — все то, что называется «стеклянной» оптикой. С помощью этой обычной оптики человек исправил много недостатков своего зрения. С помощью обычной оптики человек проник в мир микроскопический и в мир звездных систем. С помощью обычной оптики человек в пределах прямой видимости и в ясную погоду хорошо различает удаленные от него предметы.

Но для того, чтобы еще глубже проникнуть в микроскопический мир, для того, чтобы видеть через горы и леса, темной ночью и сквозь туманы, для того, чтобы сделать видимыми электрические процессы, определять большие расстояния и измерять миллионные доли секунд, средства обычной оптики оказались недостаточными. Тогда человек создал **электронную оптику** и такие технические средства, как электроннолучевой осциллоскоп, телевидение и радиолокацию, электронный телескоп и электронный микроскоп. Много труда в развитие электронной оптики вложили русские ученые: Л. И. Мандельштам, Д. А. Рожанский, Б. Л. Розинг, В. Д. Кубецкий, В. И. Архангельский, С. И. Катаев и др. Работы советских ученых по созданию отечественного электронного микроскопа удостоены Сталинской премии. Многообразны технические средства современной электронной оптики. Во всех этих могучих технических средствах — помощниках человеческого зрения — используются в том или ином виде электроннолучевые трубки.

О том, что такое электроннолучевая трубка, об ее основных типах и основных применениях я и хочу рассказать вам, товарищ радиолюбитель.

ОБ ОДНОЙ ИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ НАШЕГО ЗРЕНИЯ

Схематически строение человеческого глаза показано на фиг. 1. Процесс зрительного восприятия, о чем вы еще учили в школе, кратко состоит в следующем. Оптическая система глаза, состоящая из хрусталика и первой сферической поверх-

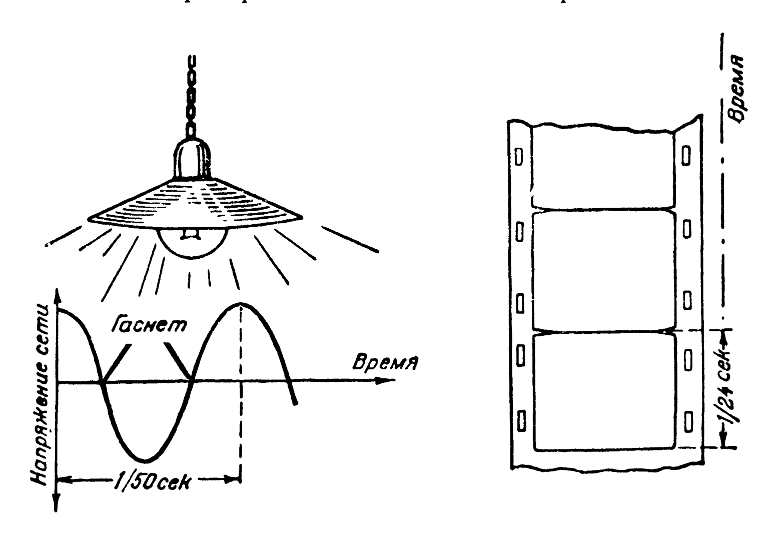


Фиг. 1. Схематическое устройство глаза.

1 — роговица; *2* — водянистая жидкость; *3* — радужная оболочка; *4* — хрусталик; *5* — стекловидное тело; *6* — сетчатка (ретина); *7* — палочки; *8* — колбочки; *9* — оптический нерв.

ности выпуклой части глаза (роговицы), отображает освещенные предметы на светочувствительную сетчатку (ретину) подобно тому, как объектив фотоаппарата отображает предметы на светочувствительную фотопластинку. Но между фотопластинкой и сетчаткой имеется существенная разница: фотопластинка действует только один раз, а сетчатка опять готова к восприятию другого изображения, как только первое изображение пропадает с исчезновением светового раздражения. Радужная оболочка глаза выполняет роль диафрагмы, пропуская в глаз необходимое количество света.

Сетчатка глаза состоит из большого числа светочувствительных элементов — палочек и колбочек, являющихся окончаниями нервных волокон оптического нерва. Палочки очень чувствительны к слабому свету и меньше к его цветному составу, а колбочки очень чувствительны к цвету, но плохо реагируют на слабый свет. Поэтому с помощью палочек осуществляется «ночное» зрение, а с помощью колбочек — «дневное». Световое раздражение, возникающее в палочках и колбочках, по нервным волокнам и далее по оптическому нерву передается в мозг. Это раздражение возникает и передается не мгно-



Фиг. 2. Благодаря инерции зрения мы не замечаем миганий лампочки и смены кадров на киноэкране.

венно, а в определенный промежуток времени. С момента отображения предмета на сетчатку глаза световое раздражение постепенно нарастает до максимальной величины, а затем спадает до полного исчезновения. Этим объясняется инерционность нашего зрения, т. е. способность сетчатки удерживать изображение в течение короткого промежутка времени (около $^1/_{16}$ секунды), благодаря чему человек не замечает коротких перерывов в освещении, если продолжительность перерывов меньше $^1/_{16}$ секунды.

Это свойство нашего зрения используется в технике электрического освещения, кинематографии, телевидении и т. д.

Например, лампочки городского освещения накаливаются переменным током с частотой 50 *гц*. Следовательно, в течение одного периода ($^1/_{50}$ сек.) лампочка накаливается неравномерно и 2 раза гаснет (фиг. 2), но благодаря инерции нашего зрения мы миганий не замечаем. На киноэкране мы видим естественную картину движения, например, идет человек. Что представляет собой кинолента, соответствующая этому движению? Движение человека, совершенное за одну секунду, заснято 24 кадрами; каждый кадр зафиксировал положение человека в первую, вторую и т. д. двадцать четвертую долю секунды. Если пустить киноленту в проекционном аппарате со скоростью 24 кадра в секунду и в момент смены кадра экран затемнять специальной частью киноаппарата, то в силу инерционности нашего зрения мы на экране увидим слитное движение человека.

Как вы увидите дальше, имеется очень большое сходство между строением и работой сетчатки глаза и фотомозаики передающей трубки (иконоскопа) в телевидении.

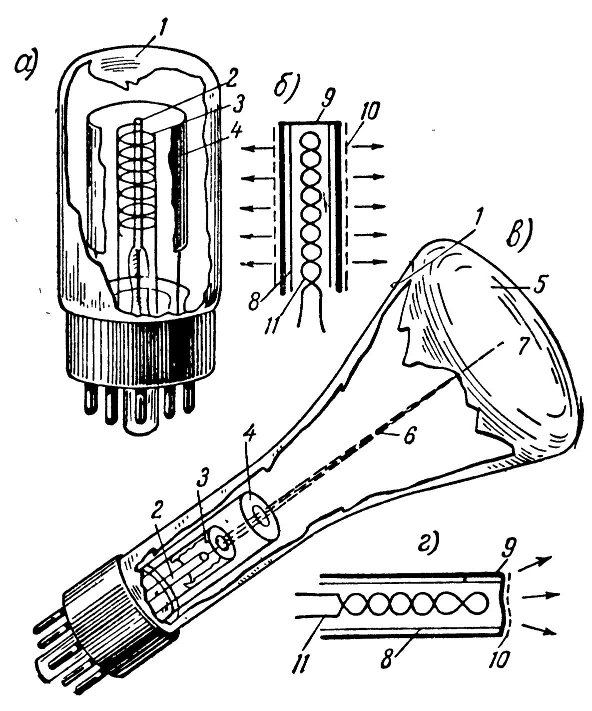
ЧТО ТАКОЕ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВАЯ ТРУБКА

Вы помните, как принципиально устроена обычная приемная трехэлектродная электронная лампа? В центре вакуумной колбы расположен катод, являющийся источником электронов. Вокруг катода (фиг. 3) расположены управляющая сетка (в виде спирали) и анод (в виде цилиндра). Электроны в этом случае вылетают из катода радиально во всех направлениях. Количество электронов, попадающих на анод (или иначе говоря, сила анодного тока) зависит от количества электронов, вылетающих из катода, от величины анодного напряжения и напряжения на управляющей сетке лампы. Чем больше отрицательное напряжение на сетке и чем меньше положительное напряжение на аноде (и в том и в другом случае относительно катода), тем меньше электронов попадает на анод, и наоборот.

К совершенно другому типу электронных ламп относятся так называемые электроннолучевые трубки. На той же фиг. 3 показано принципиальное устройство простой электроннолучевой низковольтной вакуумной трубки, являющейся, так сказать, основой современных трубок. Она представляет собой вакуумную колбу специальной формы, в которой поток электронов, вылетающих из катода, формируется в узкий парал-

лельный пучок, направленный к экрану. Экран покрыт специальным химическим веществом, которое светится в том месте, куда ударяют электроны электронного пучка.

Как и в обычной электронной лампе, здесь мы также имеем катод, сетку и анод, но уже иного устройства. Катод электроннолучевой трубки отличается от обычного подогревного



Фиг. 3.

а — трехэлектродная электронная лампа; *б* — катод трехэлектродной лампы; *в* — простая электроннолучевая трубка; *г* — катод электроннолучевой трубки.
1 — стеклянный баллон; *2* — катод; *3* — управляющий электрод; *4* — анод; *5* — флуоресцирующий экран; *6* — электронный пучок; *7* — световое пятно; *8* — фарфоровый цилиндр; *9* — никелевый цилиндр; *10* — оксидный слой; *11* — нить накала.

катода тем, что электроны вылетают только из небольшой торцевой части, сделанной в виде лунки, покрытой слоем вещества, хорошо испускающим электроны. Такое устройство катода создает направленность излучения электронов и облегчает получение узкого пучка электронов. Сетка (так называемый управляющий электрод) выполняется в виде металли-

ческого цилиндра, в донышке которого против катода вырезано отверстие. Действие этого цилиндра аналогично действию сетки электронной лампы. Если к цилиндру приложить отрицательное напряжение, то электроны, летящие от катода вдоль оси цилиндра, будут отталкиваться по направлению к оси и, пройдя через отверстие более узким пучком, будут двигаться к аноду. Часть электронов благодаря отталкивающему действию цилиндра будет попадать обратно на катод. Чем больше отрицательное напряжение на цилиндре, тем меньше электронов пройдет через отверстие цилиндра. Как вы увидите дальше, управляющий электрод в электроннолучевой трубке в отличие от сетки трехэлектродной лампы обладает еще и свойством фокусировать поток электронов (электронные лучи).

Анод в простой трубке сделан в виде металлической диафрагмы с отверстием, которое приходится против отверстия в управляющем электроде. Анод имеет высокое положительное напряжение относительно катода. Чем больше это напряжение, тем быстрее электроны будут двигаться к аноду. Чем уже поток электронов, тем меньше электронов попадет на анод и тем больше их проскочит через отверстие в аноде к экрану трубки и, ударяясь об них, вызовет на экране светящееся пятно. Поэтому анодный ток в электроннолучевых трубках по сравнению с анодным током обычных приемных ламп очень мал и бывает даже меньше 0,1 *ма*. Зависимость силы анодного тока в электронном пучке от отрицательного напряжения на управляющем электроде называется **модуляционной характеристикой** электроннолучевой трубки и аналогична сеточной характеристике электронной лампы.

Какую же роль выполняет анод в электроннолучевой трубке? Если в обычной электронной лампе назначение анода—собрать электроны, то в данном случае роль анода — ускорять движение электронов, т. е. увеличивать энергию движения. Чем больше энергия движения электронов, тем сильнее они будут ударяться об экран, тем ярче будет пятно на экране.

Представьте себе, что с помощью какого-либо устройства мы сможем управлять электронным потоком (пучком), заставляя его отклоняться вниз или вверх, вправо или влево, или по кругу, спирали и т. д. Тогда, очевидно, что и светящееся пятно на экране будет совершать соответствующие движения. Так как химический состав, покрывающий экран, обладает инерцией свечения, а наш глаз, как вы уже знаете, обладает физиологическим свойством удерживать некоторое время зрительное впечатление, то путь пятна по экрану мы будем вос-

принимать в виде сплошной линии, если движение пятна совершается с достаточной быстротой.

Современная электроннолучевая трубка снабжена всеми необходимыми устройствами для получения узкого пучка электронов и управления им и состоит из:

а) устройства для получения узкого пучка быстролетящих электронов;

б) устройства для фокусировки пучка, т. е. для получения на экране трубки резкого пятна малого диаметра;

в) экрана, способного светиться под ударами падающих на него электронов и

г) устройства для отклонения электронного пучка.

В зависимости от способов фокусировки и отклонения электронного пучка трубки разделяются на три типа:

а) трубки с электростатическим управлением;

б) трубки с электромагнитным управлением;

в) трубки с комбинированным управлением.

Схематическое устройство трех таких трубок изображено на фиг. 4.

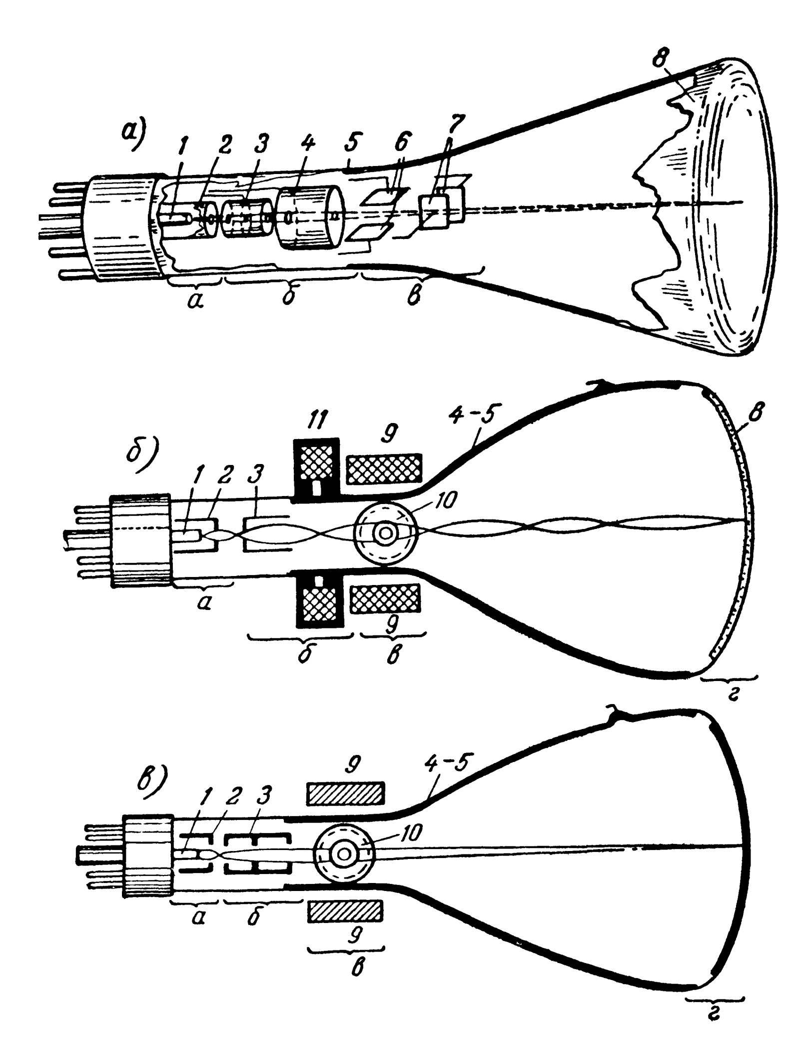
а — трубка с электростатическим управлением, т. е. с электростатической фокусировкой и электростатическим отклонением;

б — трубка с электромагнитным управлением, т. е. с электромагнитной фокусировкой и электромагнитным отклонением;

в — трубка с комбинированным управлением, в данном случае с электростатической фокусировкой и электромагнитным отклонением.

В этих трубках можно выделить характерные секции (области): *а* — секция образования электронного пучка; *б* — секция формирования электронного пучка; *в* — секция отклонения электронного пучка и *г* — так сказать, «секция изображения» — флуоресцирующий экран. Секция образования электронного пучка, одинаковая во всех трубках, состоит из подогревного катода *1* и управляющего электрода *2*; секция формирования электронного пучка состоит: в трубках *а* и *в* — из первого *3* (фокусирующего) и второго *4* (ускоряющего) анодов; в трубке *б* — из первого и второго ускоряющих анодов и фокусирующей катушки *11*; второй (ускоряющий) анод чаще всего выполняется в виде графитового слоя *5*, иногда называемого а к в а д а г о м.

В современных электроннолучевых трубках секция образования и секция формирования электронного пучка представляют собой единое устройство для получения сфокусирован-



Фиг. 4. Схематическое устройство электроннолучевой трубки.

а — электроннолучевая трубка с электростатическим управлением; *б* — электроннолучевая трубка с электромагнитным управлением; *в* — электроннолучевая трубка с комбинированным управлением.

а — секция образования электронного пучка; *б* — секция формирования электронного пучка; *в* — секция отклонения электронного пучка; *г* — секция „изображения" (экран). *1* — катод; *2* — управляющий электрод; *3* — первый анод; *4* — второй анод; *5* — графитовый слой; *6* — вертикально отклоняющие пластины; *7* — горизонтально отклоняющие пластины; *8* — флуоресцирующий экран; *9* — горизонтально отклоняющие катушки; *10* — вертикально отклоняющие катушки; *11* — фокусирующая катушка.

ного электронного пучка, называемое **электронной пушкой**. Секция отклонения состоит: в трубке *а* — из двух пар отклоняющих пластин *6* и *7*, в трубках *б* и *в* — из двух (или одной) пар отклоняющих катушек *9* и *10*.

«Секция изображения» — экран — представляет внутреннюю поверхность широкого круглого дна колбы, покрытую флуоресцирующим слоем.

Рассмотрим теперь более подробно, как образуется, фокусируется и отклоняется электронный пучок и какую роль в этом играют отдельные части электроннолучевой трубки.

КАК ОБРАЗУЮТСЯ ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛУЧИ

Обратимся снова к простой электроннолучевой трубке (фиг. 3). Источником электронов в электроннолучевой трубке является подогревный катод. Количество электронов, вылетающих из катода, зависит от напряжения накала (т. е. в конечном итоге от степени нагрева катода) и материала катода. Электроны, вылетающие из катода, вследствие отталкивающего их действия друг на друга собираются вблизи катода в виде электронного облака. (Мы не рассматриваем пока действия управляющего электрода.) Если на анод подать положительное напряжение относительно катода, то электроны направятся к нему и по мере приближения их к аноду скорость их движения будет возрастать. Чем больше положительное напряжение на аноде, тем большее количество электронов направится к аноду и тем больше будет скорость их движения. Электронное облако будет рассасываться и при достаточно высоком анодном напряжении вытянется в удлиненный пучок быстро летящих к аноду электронов. Так как излучающая поверхность катода (торец) мала, а анод сделан в виде диафрагмы, то до экрана трубки дойдет уже достаточно узкий электронный пучок.

Так обстояло бы дело при отсутствии управляющего электрода. Этот электрод благодаря своему устройству и отрицательному напряжению способствует образованию узкого пучка электронов, сжимая электронное облако, и, как вы узнаете далее, фокусирует вылетающие через отверстие сетки электроны в некоторой точке, являющейся как бы источником электронов с меньшей поверхностью, чем излучающая часть катода. Поэтому электронный пучок получается еще более узким, нежели в том случае, когда электронное облако «вытя-

гивалось» бы только анодом. В современных трубках электронный пучок получают настолько узким, что его не без основания часто называют просто **электронным лучом** подобно тому, как мощный поток света прожектора называют «лучом прожектора».

Так как узкий электронный пучок в целом проявляет себя так же, как и отдельный электронный луч, то говорят или электронный пучок или электронный луч, как это кажется удобнее. Строго говоря, между узким электронным пучком и электронным лучом имеется разница. Под электронным лучом понимают воображаемую линию полета одного или множества электронов, летящих друг за другом, а под электронным пучком надо понимать множество электронных лучей, сжатых в узкий пучок.

Вы уже знаете, какую роль выполняет электронный пучок в электроннолучевой трубке. Сфокусированный на экране трубки он вызывает в месте падения светящееся пятно, яркость которого зависит от количества и скорости электронов в пучке, т. е. от энергии электронного луча, с какой он воздействует на светочувствительный слой экрана трубки. Энергия движения (так называемая кинетическая энергия) электрона может быть выражена, как вам известно, формулой $\frac{mv^2}{2}$, где m — масса электрона, а v — его скорость.

При ударе о флуоресцирующий экран энергия электронов частично превращается в световую энергию и значительной частью — в тепловую энергию. Массу электронов можно считать величиной постоянной и, следовательно, энергия электрона будет пропорциональна квадрату скорости его движения. Скорость же движения электронов зависит, как мы выяснили, от величины напряжения на аноде. Следовательно, регулируя напряжение на аноде, можно регулировать скорость, а тем самым и энергию электронов и, как результат, яркость светового пятна на экране.

Но этот способ управления движением электронов неудобен, потому что, как и в обычных электронных лампах, изменение напряжения на аноде менее эффективно, чем на сетке. Поэтому применяется другой способ управления энергией пучка —с помощью управляющего электрода. Ведь энергия электронного пучка зависит и от количества электронов в пучке. Количество же электронов в пучке очень легко регулируется изменением отрицательного напряжения на управляющем электроде. Таким образом, роль этого электрода за-

ключается еще и в управлении энергией электронного пучка, т. е. в регулировании яркости светового пятна на экране трубки. Это свойство управляющего электрода используется в телевидении для яркостной модуляции.

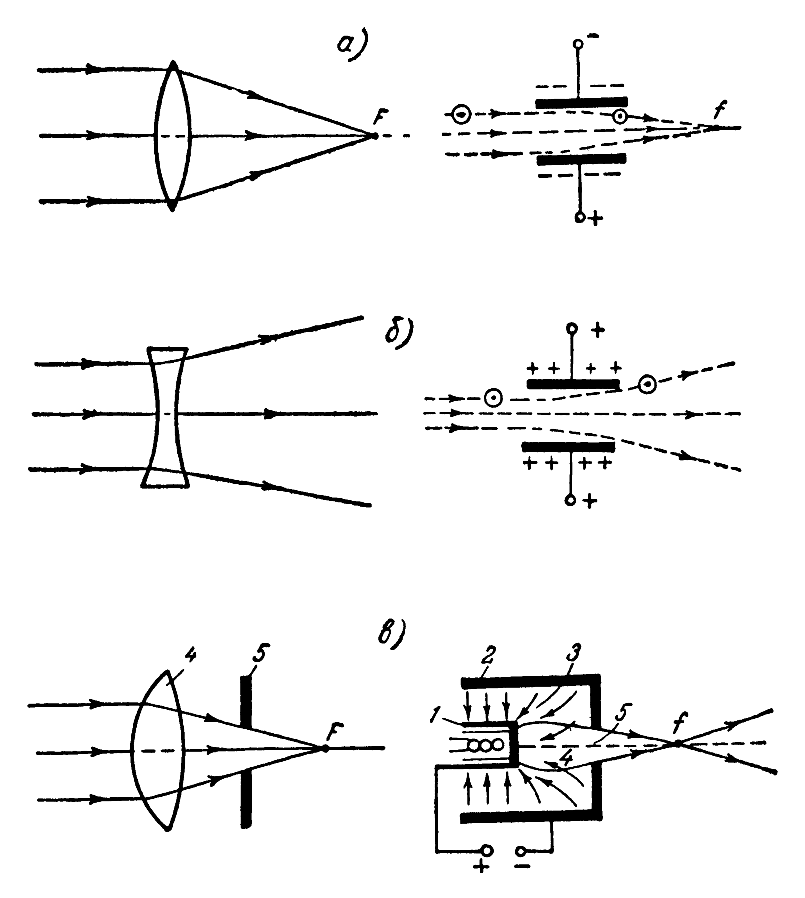
Масса отдельного электрона настолько ничтожна, что электронный луч является практически безинерционным, а следовательно, световое пятно может мгновенно перемещаться в любую точку экрана, что очень важно при наблюдении быстропеременных процессов и делает электроннолучевую трубку исключительно гибким инструментом.

КАКИМ ОБРАЗОМ ФОКУСИРУЮТСЯ ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛУЧИ

Для того, чтобы световое пятно на экране получалось резким, необходимо электронный пучок сфокусировать в плоскости экрана, подобно тому как объективом фотоаппарата световые лучи фокусируются на матовом стекле или фотопластинке фотоаппарата.

Вы знаете, что световые лучи, проходя через выпуклые линзы, сходятся в одной точке, называемой **фокусом**. В зависимости от расстояния источника света от линзы положение фокуса меняется. Когда же лучи от источника света идут параллельно, что бывает при очень большом удалении его от линзы, то лучи сходятся в точке, лежащей всегда на определенном расстоянии от линзы, эта точка носит название **главного фокусного расстояния**. Для того, чтобы получить отчетливое изображение на фотопластинке, необходимо объектив фотоаппарата, как говорят, установить на фокус — произвести установку на резкость. В этом случае световая энергия будет воздействовать на фотохимическую эмульсию фотопластинки в полном соответствии с освещенностью различных частей фотографируемого объекта. В фотоаппарате установка на фокус производится передвижением объектива.

Обратимся теперь к электронным лучам. Очевидно, что для того, чтобы получить наибольшую резкость изображения на экране трубки, нужно, чтобы световое пятно было возможно меньшего диаметра, т. е. сфокусировать все электронные лучи электронного пучка в одну точку экрана. В этом случае, наряду с получением резкого изображения на экране трубки, будут правильно передаваться и изменения в яркости отдельных частей изображения (в телевидении). Кроме того, фокусировка электронных лучей в узкий параллельный электрон-



Фиг. 5. Аналогия между стеклянными линзами и заряженными пластинами.

а — собирающая линза; *б* — рассеивающая линза; *в* — фокусирующее действие управляющего электрода.

1 — катод; *2* — управляющий электрод; *3* — силовые линии; *4* — несимметричная собирающая линза; *5* — диафрагма.

ный пучок улучшает управление им, так как в узком пучке все электроны отклоняются одинаково.

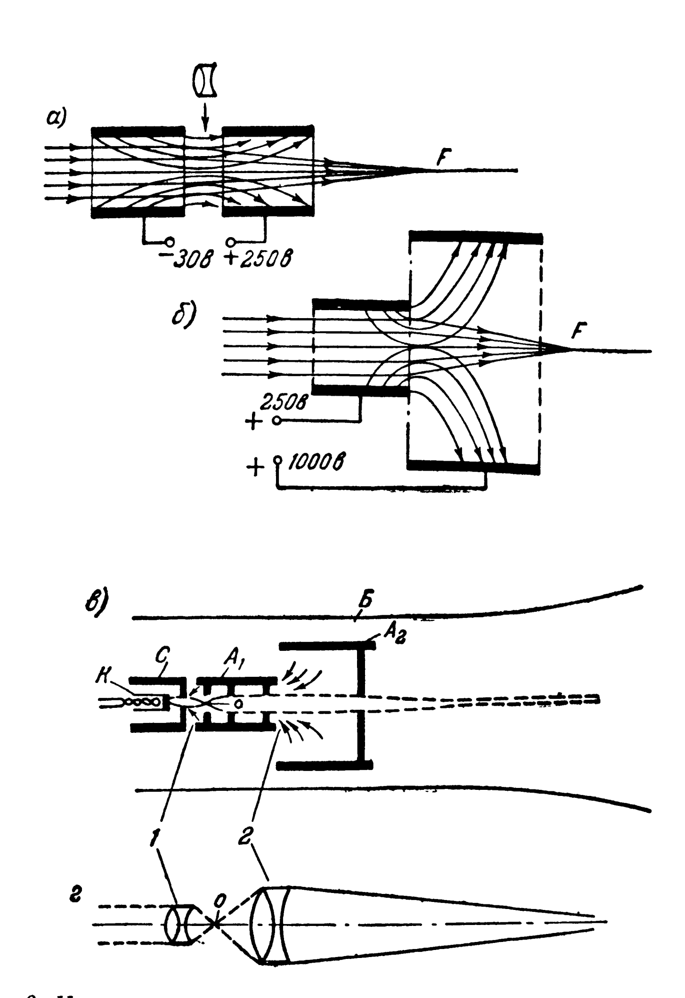
Как фокусировать электронные лучи? Это оказывается возможным осуществить с помощью электронных — электростатических и электромагнитных — линз. В соответствии с применением тех или других или их комбинации фокусировка электронных лучей может быть элек-

тростатической, электромагнитной и комбинированной; последняя встречается значительно реже.

Электростатическая фокусировка. Аналогично тому, как выпуклая стеклянная линза фокусирует пучок параллельных световых лучей (фиг. 5,*а*), две отрицательно заряженные пластины фокусируют пучок параллельных электронных лучей, проходящих между ними. Это нетрудно понять, если вы вспомните, что электроны имеют отрицательный заряд и поэтому отталкиваются отрицательно заряженными пластинками. Если обе пластинки зарядить положительно, то электроны будут ими притягиваться и электронные лучи будут расходиться аналогично расхождению световых лучей при их прохождении через двояковогнутую линзу (фиг. 5,*б*).

Управляющий электрод электроннолучевой трубки не только регулирует количество электронов в электронном пучке, но и фокусирует электронные лучи. Подобно двум отрицательно заряженным пластинам заряженный отрицательно управляющий электрод будет отталкивать от себя вылетающие из катода электроны, изменяя направление их движения, и они, пройдя через отверстие управляющего электрода, будут фокусироваться в определенной точке на оси трубки (фиг. 5,*в*). Таким образом, электростатическое поле в пространстве между катодом и управляющим электродом выполняет роль собирательной линзы. Фокус этой линзы представляет собой как бы новый источник электронов для последующих электронных линз.

Электростатические электронные линзы можно получить с помощью двух одинаковых или разных по диаметру и длине цилиндров, к которым приложены разные по величине или по знаку напряжения. Линзы образуются в результате искажения электростатического поля в пространстве между двумя цилиндрами. Электроны, попадающие в это пространство, будут отклоняться к некоторой точке (фокусу) на оси цилиндров (фиг. 6,*а*), т. е. действие промежутка между двумя цилиндрами можно сопоставить с действием собирающей стеклянной линзы. Электронные лучи, пройдя этот промежуток и попадая в электростатическое поле положительно заряженного второго цилиндра, действие которого подобно действию рассеивающей стеклянной линзы, немного расходятся, но так как скорость электронов за счет ускоряющего действия второго цилиндра значительно возрастает, то это расхождение приведет лишь к увеличению фокусного расстояния. Если второй цилиндр сделать с бо́льшим диаметром, чем первый, то рас-



Фиг. 6. Цилиндрические электронные линзы и электронная пушка.

а — длиннофокусная линза; *б* — короткофокусная линза; *в* — электронная пушка; *г* — оптическая аналогия электронной пушки.

К — катод; *С* — управляющий электрод; A_1 — первый анод; A_2 — второй анод; *Б* — узкая часть стеклянного баллона трубки; *1* — объектив; *2* — фокусирующая линза.

хождение лучей будет незначительным и фокусное расстояние подобной линзы будет меньше, чем у линзы с одинаковыми цилиндрами (фиг. 6,*б*). Если изменять разность напряжений между обоими цилиндрами (изменяя напряжение на первом или втором цилиндре), то этим самым можно регулировать

фокусное расстояние, что невозможно сделать в случае стеклянных линз, которые имеют постоянное главное фокусное расстояние, определяемое формой линзы.

В современных электростатических и комбинированных электроннолучевых трубках получение пучка электронов и его фокусировка осуществляется единой системой, которая называется **электронной пушкой** или **электронным прожектором** и является по существу электроннооптической частью электроннолучевой трубки.

Электронная пушка. Электронная пушка, являясь первой и основной частью электроннолучевой трубки, позволяет:

1) получать узкий пучок электронов, быстролетящих по направлению к экрану и ударяющихся о него, вызывая в месте падения световое пятно;

2) регулировать количество электронов в электронном пучке, а тем самым уменьшать или увеличивать яркость светового пятна;

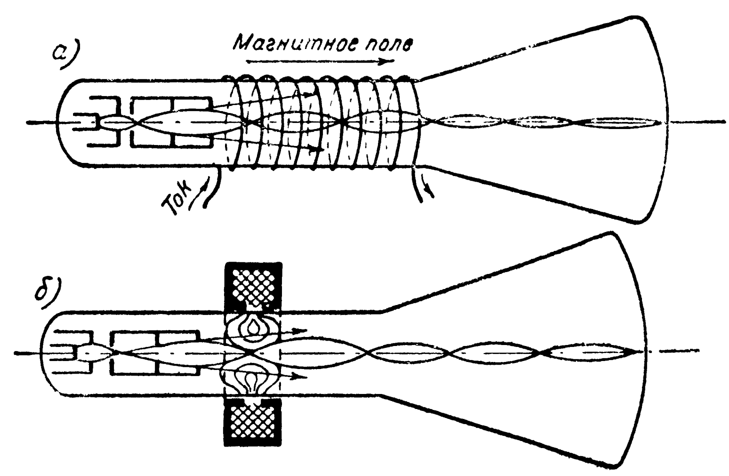
3) фокусировать электронный пучок на экране трубки.

Как устроена электронная пушка?

Посмотрите на рисунок, на котором представлена электронная пушка и ее световая аналогия (фиг. 6,*в* и *г*). Электронная пушка, расположенная в конце узкой части баллона *Б* трубки, состоит из уже знакомых вам деталей: *К* — катод, передняя торцевая часть которого является источником электронов; *С* — управляющий электрод в виде цилиндра с отверстием против катода. В зависимости от величины отрицательного напряжения на управляющем электроде в отверстие направляется большее или меньшее число электронов. Чем меньше отрицательное напряжение на этом электроде, тем больше электронов в электронном пучке, тем ярче световое пятно на экране трубки. A_1 — первый анод в виде цилиндра с двумя или тремя металлическими диафрагмами, на который подается положительное по отношению к катоду напряжение в несколько сот вольт; A_2 — второй анод в виде более короткого, но с большим диаметром цилиндра, обычно с одной диафрагмой. Напряжение на втором аноде достигает нескольких тысяч вольт.

Обратите внимание на то, что электростатическое поле в пространстве между управляющим электродом и первым анодом и электростатическое поле в пространстве между вторым концом первого анода и вторым анодом образуют уже знакомые вам электронные линзы. Первая линза является объек-

тивом, вторая — оконечной или фокусирующей линзой. Изменяя напряжение между анодами, можно изменять фокусное расстояние этой линзы и осуществлять фокусировку электронного пучка на экране. Обычно фокусирование производится изменением напряжения на первом аноде. Второй анод имеет неизменное напряжение и обычно называется ускоряющим анодом. Чаще всего он выполнен в виде графитового слоя, покрывающего бо́льшую часть внутренней боковой поверхности колбы.



Фиг. 7. Магнитная фокусировка. Отклоняющая система на рисунке не показана.

а — магнитная фокусировка длинной катушкой; *б* — магнитная фокусировка короткой катушкой с сердечником из магнитного материала.

В некоторых типах электроннолучевых трубок имеются три анода. В этом случае второй анод (металлический) заземляется и выполняет роль защитной сетки, а роль ускоряющего анода выполняет уже третий анод, выполненный в этом случае в виде графитового слоя. Более подробно об этом слое я вам расскажу в дальнейшем.

Для получения очень малого светового пятна электроннолучевые трубки могут иметь и электростатическую и магнитную фокусировки.

Магнитная фокусировка. Кроме электрических электронных линз, можно создать и магнитные электронные линзы, с помощью которых электронные лучи также могут быть фокусированы на экране электроннолучевой трубки.

Магнитная линза образуется постоянным магнитным полем катушки, расположенной на узкой части электроннолучевой трубки — между отклоняющей системой и экраном (фиг. 7,*а*). Магнитное поле такой катушки (соленоида) направлено параллельно оси трубки и действует на расходящиеся электронные лучи таким образом, что электроны начинают двигаться по окружностям в плоскостях, перпендикулярных к оси трубки, и одновременно двигаются вдоль этой оси. В результате электроны движутся к экрану трубки по спиралям, которые при определенных условиях сходятся в одной точке. Этими условиями являются скорость поступательного и вращательного движения электронов. Первая зависит от напряжения ускоряющего анода, вторая — от интенсивности магнитного поля или иначе—от силы тока, проходящего по катушке. Для того, чтобы электронные лучи сфокусировались в одной точке экрана, необходимо, чтобы время одного полного оборота электрона вокруг оси было равно или кратно времени его движения от отклоняющей системы до экрана. Этот подбор совершается изменением силы тока в катушке, которая обычно называется ф о к у с и р у ю щ е й. Таким образом, магнитное поле катушки с током аналогично в некотором смысле собирательной линзе с регулируемым фокусным расстоянием.

Магнитную фокусировку можно получить и при помощи короткой катушки, которую обычно помещают между первым ускоряющим анодом и отклоняющей системой (фиг. 7,*б*).

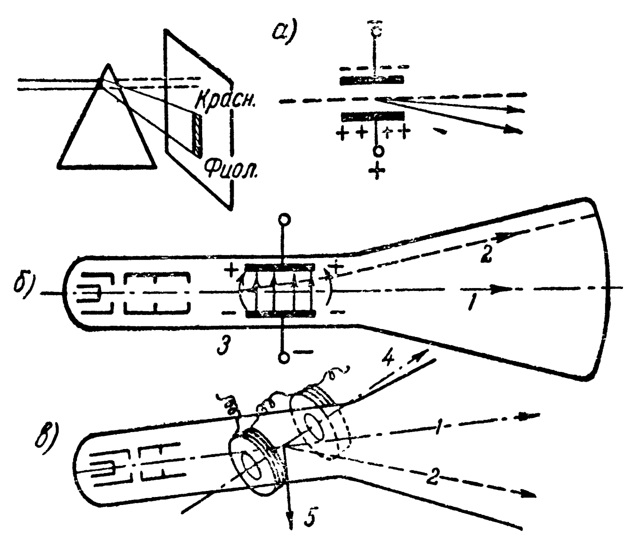
КАКИМ ОБРАЗОМ ОТКЛОНЯЮТСЯ ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛУЧИ

Вам знакомо действие стеклянной призмы на световые лучи (фиг. 8,а): лучи рассеиваются призмой в соответствии с их цветным составом.

Подобно световым лучам электронные лучи «рассеиваются» в электростатическом и электромагнитном полях. Например, если пучок электронных лучей проходит между двумя плоскими металлическими разноименно заряженными пластинами, то электроны будут отклоняться в сторону положительной пластины в соответствии с их скоростями: чем больше скорость движения электронов, тем меньшее время они будут находиться под воздействием электростатического поля между пластинами и тем меньше они отклонятся от первоначального направления. Если переполюсовать пластины, то электронные лучи отклонятся в противоположную сторону — снова к положительной пластине. Если приложить к пла-

стинам переменное напряжение, то электронные лучи будут отклоняться в сторону той пластины, на которой в данный момент окажется плюс. Таким образом, лучи будут колебаться между пластинами с частотой приложенного напряжения.

На свойстве электронов, а следовательно, и электронных лучей, отклоняться в электрическом поле в зависимости от его направления основано электростатическое управление электронным пучком в электроннолучевой трубке (фиг. 8,*б*).



Фиг. 8. Электростатическое и электромагнитное отклонение.

а — действие призмы на световые лучи и действие разноименно заряженных пластин на электронные лучи; *б* — электростатическое отклонение; *в* — электромагнитное отклонение; *1* — путь движения электрона при отсутствии и *2* — при наличии отклоняющего поля; *3* — направление электрического поля и силы, действующей на электрон; *4* — направление магнитного поля; *5* — направление силы, выталкивающей электрон из магнитного поля.

Величину отклонения луча можно регулировать величиной приложенного к пластинам напряжения. Величина X отклонения электронного луча, т. е. светового пятна на экране трубки, прямо пропорциональна величине отклоняющего напряжения и может быть подсчитана по простой формуле $X = k \cdot U$, где X — величина отклонения в *мм*, U — амплитудное значение отклоняющего напряжения и, наконец, k — величина **чувствительности** трубки по отклонению, показывающая, на сколько миллиметров сдвинется световое пятно от первоначального положения, если напряжение на пластинах изменит-

ся на 1 *в*. Чувствительность k выражается в миллиметрах на вольт, и она тем больше, чем больше длина одной пары отклоняющих пластин и расстояние от центра отклоняющих пластин до экрана и чем меньше расстояние между пластинами одной пары и напряжение на ускоряющем аноде. В трубке с электростатическим отклонением имеются две пары пластин, из которых одна служит для горизонтального отклонения электронного луча, а другая — для вертикального. Так как обычно последняя пара пластин размещается дальше от экрана, то чувствительность электроннолучевой трубки по вертикальному отклонению больше, чем по горизонтальному.

Электронные лучи могут отклоняться и магнитным полем (фиг. 8,*в*). Вспомните, что происходит с токонесущим проводом, помещенным в магнитное поле, силовые линии которого перпендикулярны к проводнику. Вокруг проводника с током образуется магнитное поле. В результате взаимодействия обоих магнитных полей проводник с током будет выталкиваться вверх или вниз в зависимости от направления тока в проводнике и направления магнитного поля. Сила, с которой проводник выталкивается из поля, пропорциональна силе тока в проводнике и напряженности магнитного поля.

Элекронный пучок — поток электронов в вакууме и потому он ведет себя аналогично проводнику с током и будет также отклоняться в поперечном магнитном поле. Если на узкую горловину электроннолучевой трубки поместить пару катушек, создающих перпендикулярное к электронному пучку магнитное поле, то электронный пучок будет отклоняться в напраглении, перпендикулярном к собственному направлению и направлению магнитного поля. Величина отклонения при определенных параметрах трубки тем больше, чем больше напряженность магнитного поля, т. е. она пропорциональна числу ампервитков катушек и может быть выражена формулой

$$X = k \cdot I \cdot w,$$

где k — чувствительность трубки по отклонению; I — сила тока в катушках; w — число витков, обтекаемых током. Чувствительность по магнитному отклонению измеряется в миллиметрах на один ампервиток (при определенном напряжении на последнем ускоряющем аноде) и она тем больше, чем больше длина пути, на котором действует магнитное поле, чем больше расстояние от центра катушек до экрана и чем меньше напряжение на последнем (ускоряющем) аноде трубки.

Для получения отклонения электронного пучка в двух взаимно-перпендикулярных направлениях в трубках с электромагнитным отклонением используют две пары взаимно-перпендикулярных катушек.

ФЛУОРЕСЦИРУЮЩИЕ ЭКРАНЫ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВЫХ ТРУБОК

Подобно тому, как имеются вещества, способные испускать электроны под воздействием световых лучей (фотоэффект), имеются и вещества, способные светиться под воздействием электронной бомбардировки. Эта способность веществ называется флуоресценцией. Отсюда и название флуоресцирующие экраны. В зависимости от состава, которым покрыт экран, свечение может быть получено различного цвета, что имеет большое значение при применении электроннолучевых трубок в телевидении, осциллографах и т. д. Так, например, чтобы не утомлять наше зрение, лучше всего применять зеленое свечение; для получения большей четкости изображения в телевидении предпочитается белое свечение; для фотографирования получаемых на экранах трубок изображений лучше всего применять синеватофиолетовое свечение, сильнее воздействующее на фотопластинку. К веществам, способным флуоресцировать, относятся виллемит, вольфрамовокислый кальций и т. д., большей частью активированные другими веществами.

Яркость свечения экрана под воздействием электронной бомбардировки зависит, во-первых, от свойств самого флуоресцирующего вещества, и во-вторых, от скорости и количества электронов, ударяющихся в единицу времени о площадку в 1 *кв. см* экрана трубки. Чем больше ударяется электронов и чем больше их скорость, тем сильнее будет свечение. При очень сильной бомбардировке в течение длительного промежутка времени одного и того же места экрана (точка или линия) возникает явление, называемое выгоранием экрана. Как вы уже знаете, энергия движения электронов при ударе их об экран частью переходит в тепловую энергию. И если электроны длительное время ударяются с большой силой в одно и то же место экрана, то флуоресцирующий слой вещества в этом месте сильно нагревается и выгорает. Трубка будет испорчена. Явление выгорания экрана можно в значительной мере ослабить, если яркость пятна (изображения) не делать большей, чем это нужно для наблюдения, и если не оставлять пятно очень долго на одном и том же месте экрана.

Есть и еще одно явление, приводящее к ухудшению качества экрана. Это так называемое явление утомляемости экрана, проявляющееся в том, что способность флуоресцирующих веществ светиться под ударами электронов с течением времени ухудшается.

Флуоресцирующие вещества обладают еще одним свойством. Некоторые вещества перестают светиться, как только прекращается электронная бомбардировка. Продолжительность свечения таких веществ доходит до 0,1 сек. Но некоторые вещества продолжают еще светиться и после прекращения электронной бомбардировки. Это свойство флуоресцирующих веществ называется послесвечением или фосфоресценцией и может длиться от нескольких секунд до нескольких часов. В последнем случае говорят о длительном послесвечении. В электроннолучевых трубках послесвечение флуоресцирующих веществ является нежелательным в том случае, если мы с помощью электроннолучевых трубок наблюдаем чередующиеся изображения, которые отличаются друг от друга (например, подвижные изображения в телевидении). Но послесвечение очень полезно при наблюдении, фотографировании и т. д. единичных изображений (например: отраженных импульсов на экране электроннолучевого индикатора радиолокационной станции при определении расстояния и т. д.).

ЧТО ТАКОЕ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОСКОП

Вы наверное не раз встречали в книгах или журналах это название. Иногда вместо «осциллоскоп» пишут или говорят «осциллограф», а вместо «электроннолучевой» — «катодный». Разные названия, но речь идет об одном и том же. Осциллограф — это прибор для записи колебаний, осциллоскоп — прибор для наблюдения колебаний. Осциллограф более раннее название, связанное с появлением приборов для оптико-механической записи колебаний, а осциллоскоп — более позднее, связанное с появлением электроннолучевой трубки.

Из самого названия уже видно, что электроннолучевой осциллоскоп является прибором для наблюдения и регистрации с помощью электроннолучевой трубки различных электрических колебаний.

Необходимо отметить, что предложение об использовании электроннолучевой трубки для исследования быстро переменных электрических колебаний принадлежит русскому ученому, покойному ныне, академику Л. И. Мандельштаму. Еще в

1907 г. он первый применил для исследования высокочастотных колебаний электроннолучевую трубку, разработав для этой цели необходимые схемы и заложив тем самым основу для современных электроннолучевых осциллоскопов или осциллографов. В следующем году эти схемы были усовершенствованы другим русским ученым Д. А. Рожанским.

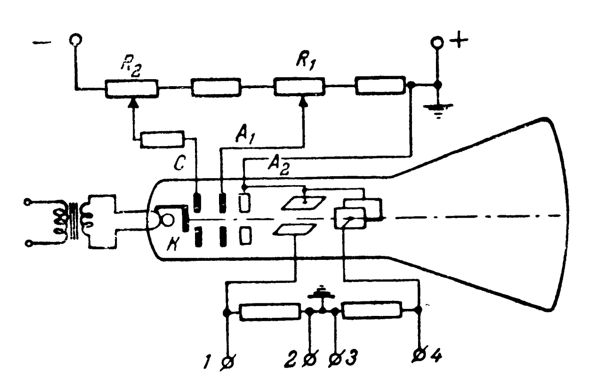
С помощью современных электроннолучевых осциллоскопов можно наблюдать и фотографировать: форму колебаний тока и напряжения, ламповые характеристики, кривые магнитного гистерезиса; можно измерять напряжение и силу тока, частоту колебаний, коэффициент модуляции; можно измерять расстояние в сотни километров и время в миллионные доли секунд и т. д. И, наконец, с помощью осциллоскопа можно воспроизводить изображения в телевизионных приемниках. Последнее замечание может вам показаться странным. Однако это так, потому что та часть телевизионного приемника, которая формирует изображения, является одним из типов электроннолучевых осциллоскопов.

И здесь опять необходимо отметить, что предложение об использовании электроннолучевой трубки для видения на расстоянии (т. е. для телевидения) принадлежит также русскому ученому, профессору Петербургского технологического института Б. Л. Розингу, который 25 июня 1907 г. заявил патент на использование электроннолучевой трубки для видения на расстоянии. Это предложение намного лет опередило технику того времени и было осуществлено много лет спустя. Об основных примерах использования электроннолучевой трубки в телевидении я расскажу вам, а если вы уже читали об этом, — напомню, несколько позже.

В зависимости от применения трубки—электростатической или электромагнитной — осциллоскопы в свою очередь называются электростатическими или электромагнитными электроннолучевыми осциллоскопами или осциллографами.

На фиг. 9 показана обычная схема включения электростатической электроннолучевой трубки. Собственно говоря, это уже есть схема простого осциллоскопа. Регулируя (потенциометр R_1) положительное напряжение на первом аноде A_1, можно фокусировать электронный луч, т. е. регулировать резкость светового пятна на экране. Регулируя (потенциометр R_2) отрицательное напряжение на сетке C, можно регулировать количество электронов в электронном луче, т. е. регулировать интенсивность или яркость светового пятна на экране трубки.

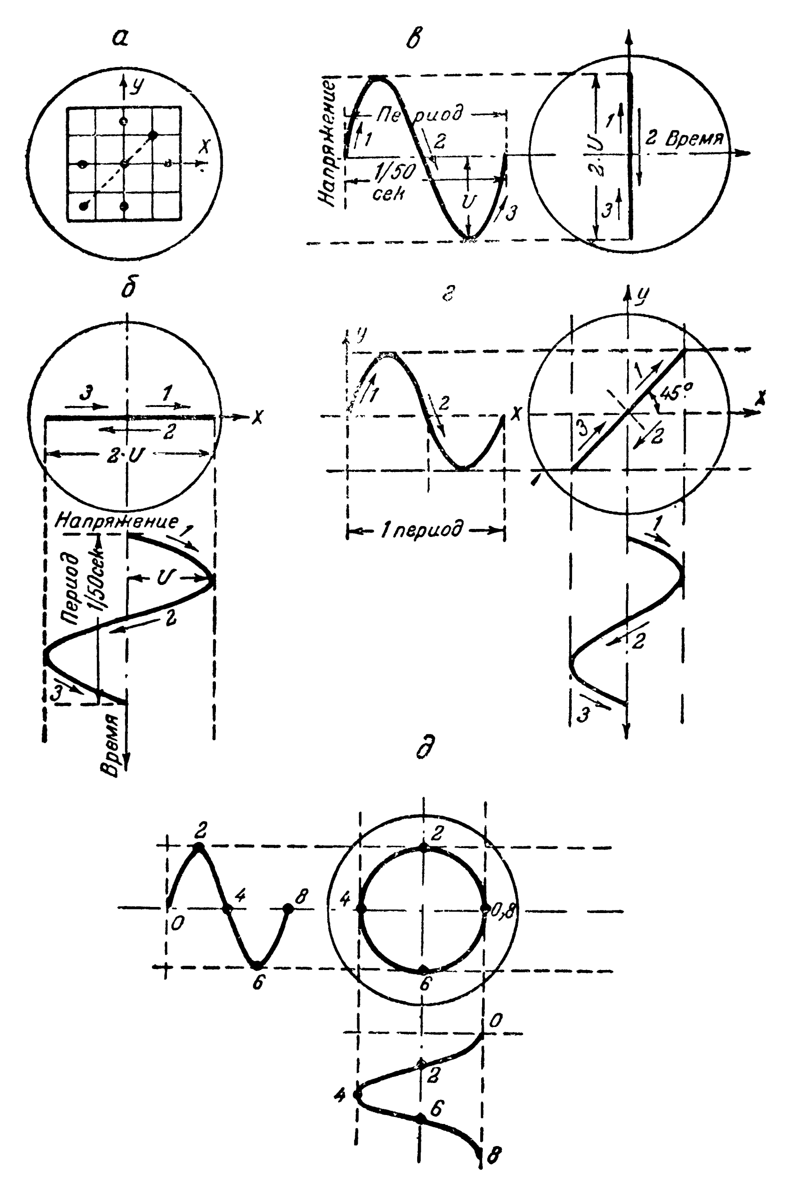
Вы помните, что ближайшие к электронной пушке отклоняющие пластины называются пластинами вертикального отклонения, а отклоняющие пластины, ближайшие к экрану, называются пластинами горизонтального отклонения. Обе пары пластин расположены одна за другой вдоль оси электроннолучевой трубки и взаимно-перпендикулярно друг другу. Если приложить постоянное напряжение к пластинам вертикального отклонения (зажимы *1* и *2*), то электронный луч отклонится в направлении к положительной пластине, а световое пятно на экране переместится от центра по вертикали вверх или



Фиг. 9. Обычная схема включения электроннолучевой трубки с электростатическим управлением.

вниз (в зависимости от того, к какому зажиму приключен положительный полюс напряжения). Очевидно, что если приложить постоянное напряжение к пластинам горизонтального отклонения (зажимы *3* и *4*), то можно перемещать пятно влево или вправо по горизонтали. Величина перемещения пропорциональна величине приложенного напряжения. Чем больше напряжение, тем больше сместится световое пятно от центрального положения. Это обстоятельство используется в современных осциллографах для центрирования пятна или его перемещения в желаемую точку экрана.

Если на внешней стороне экрана укрепить прозрачную пленку с начерченной в прямоугольных координатах миллиметровой сеткой, то отклонение пятна можно измерять в миллиметрах. Если величину этого отклонения разделить на величину чувствительности трубки, то можно определить и величи-



Фиг. 10. Путь движения светового пятна на экране электроннолучевой трубки.

а — при различных по величине и знаку постоянных напряжениях на отклоняющих пластинах пятно можно сместить в любую точку экрана; *б* — на горизонтально отклоняющие пластины подано переменное напряжение; *в* — переменное напряжение подано на вертикально отклоняющие пластины; *г* — к обеим парам пластин поданы одинаковые по амплитуде, фазе и частоте переменные напряжения; *д* — оба напряжения имеют одинаковую частоту и амплитуду, но отличаются по фазе на 90°.

ну приложенного напряжения. В соответствии с координатной сеткой отклонение пятна по вертикали большей частью называют отклонением по оси Y, а отклонение по горизонтали — отклонением по оси X. Поэтому зажимы *1-2* и *4-3* на фабричных осциллоскопах часто обозначаются буквами Y и X.

Если к обеим парам пластин Y и X одновременно приложить равные напряжения, то световое пятно переместится под углом 45° к осям (фиг. 10,*а*). Всегда можно так подобрать на обеих парах пластин значения напряжений по величине и знаку, чтобы отклонить световое пятно в любую точку экрана.

До сих пор мы с вами к пластинам подводили постоянное напряжение. Что же будет, если мы к пластинам Y и X подведем переменное напряжение?

Подведем, например, к горизонтальным пластинам X переменное напряжение с частотой в 50 *гц* (осветительная сеть) Что произойдет со световым пятном на экране трубки за один период изменения напряжения, т. е. за $^1/_{50}$ сек.? Световое пятно будет двигаться от центрального положения до крайне правого, соответствующего амплитуде колебаний напряжения. Затем начнет двигаться обратно и, пройдя через центр, дойдет до крайне левого значения и снова возвратится к центру (фиг. 10,*б*). Так как за 1 сек. световое пятно совершит 50 таких полных движений, то благодаря инерции нашего зрения, о котором я вам рассказывал раньше, путь движения светового пятна мы увидим в виде сплошной прямой линии, длина которой в определенном масштабе, зависящем от чувствительности трубки, равна удвоенной амплитуде переменного напряжения. Очевидно, то же самое мы получим, если приложим переменное напряжение только к вертикальным пластинам осциллоскопа (фиг. 10,*в*).

А что получится, если мы подведем два переменных напряжения, изменяющихся по определенному закону во времени, одновременно и к вертикальным и горизонтальным пластинам осциллоскопа? Очевидно, что в каждый данный момент электронный луч будет находиться под действием двух отклоняющих сил и световое пятно будет двигаться в некотором результирующем направлении. В зависимости от амплитуды, частоты и фазы обоих переменных напряжений световое пятно на экране трубки будет двигаться по различным путям, и на экране мы увидим различные фигуры, которые, что вам, наверное, знакомо, называются фигурами Лиссажу. Рассмотрим несколько примеров.

Пример 1. К вертикальным и горизонтальным пластинам приложены два одинаковых по амплитуде, частоте и фазе переменных напряжения синусоидальной формы. Электронный луч в результате воздействия двух одинаковых сил будет отклоняться по результирующей, представляющей на экране прямую линию под углом в 45° к осям X и Y (фиг. 10, *г*). Если амплитуды не равны, то угол будет другой.

Пример 2. Оба напряжения имеют одинаковую частоту и амплитуду, но отличаются по фазе на 90° (1/4 периода). В этом случае световое пятно будет прочерчивать на экране окружность с радиусом, равным амплитуде переменного напряжения (фиг. 10,*д*).

Отношение частот \ Разность фаз	0	1/8 периода	1/4 периода	3/8 периода	1/2 периода
1:1					
1:2					

Фиг. 11. Фигуры Лиссажу.

Если амплитуды напряжений не равны, то на экране будут получаться эллипсы.

Пример 3. Оба напряжения имеют одинаковые амплитуды и фазы, но частота одного напряжения в 2 раза больше частоты другого. В этом случае световое пятно на экране изобразит нам восьмерку. Если одна частота в 3 раза больше другой, получим фигуру в виде буквы Z (зет).

Можно привести еще целый ряд примеров фигур Лиссажу в зависимости от соотношений амплитуд, фаз и частот переменных напряжений. На фигуре 11 показано, какие изображения получаются на экране в некоторых частных случаях (амплитуда одна и та же).

Как вы уже, очевидно, догадались, с помощью осциллографа по фигурам Лиссажу можно сравнивать, а следова-

тельно, и измерять частоты, фазы и амплитуды переменных напряжений.

Вышеперечисленные фигуры получаются в результате воздействия на электронный луч двух переменных напряжений так называемой синусоидальной формы.

КАК НАБЛЮДАТЬ ФОРМУ КРИВОЙ И ЧТО ТАКОЕ РАЗВЕРТКА

А можно ли наблюдать непосредственно форму кривой переменного напряжения?

Ведь изменения напряжения в зависимости от времени в различных случаях могут иметь различную форму, и ее очень часто необходимо знать. Например, напряжение в осветительной сети изменяется в зависимости от времени по кривой (фиг. 10,*г*), вычерченной в прямоугольных координатах.

По оси Y отмечается напряжение сети в вольтах, а по оси X — время в секундах.

А как же увидеть этот график на экране электроннолучевой трубки осциллографа?

Вы уже знаете, что к вертикальным пластинам трубки мы можем подвести исследуемое напряжение. Луч будет отклоняться вверх и вниз по отрезку прямой линии на оси Y. А как «подвести» время к горизонтальным пластинам, чтобы заставить луч отклоняться по оси X? Очевидно, что для этого необходимо сначала превратить время в электрическую величину, например, тоже в напряжение, которое бы равномерно нарастало или убывало в зависимости от времени, т. е. в определенном масштабе выражало само время, а затем уже подвести это напряжение к горизонтальным пластинам. Это напряжение можно осуществить так, чтобы световое пятно на экране трубки перемещалось по оси X от левого края до правого края экрана с постоянной скоростью, т. е. перемещалось пропорционально времени. Если в тот момент, когда пятно дойдет до правого края экрана, возвратить его быстро обратно на левый край, чтобы оно снова совершило такое движение, и если повторять эти движения с достаточной скоростью, то на экране вы увидите прямую линию, каждый миллиметр которой в определенном масштабе соответствует определенному промежутку времени. Мы с вами как бы развернули время по отрезку прямой — оси X. Поэтому такой процесс называется р а з в е р т к о й. Напряжение, выражающее время в определенном масштабе, называется р а з в е р т ы в а ю щ и м н а п р я ж е н и е м; источники такого напряжения называются г е н е р а т о р а м и р а з в е р т к и. Существует

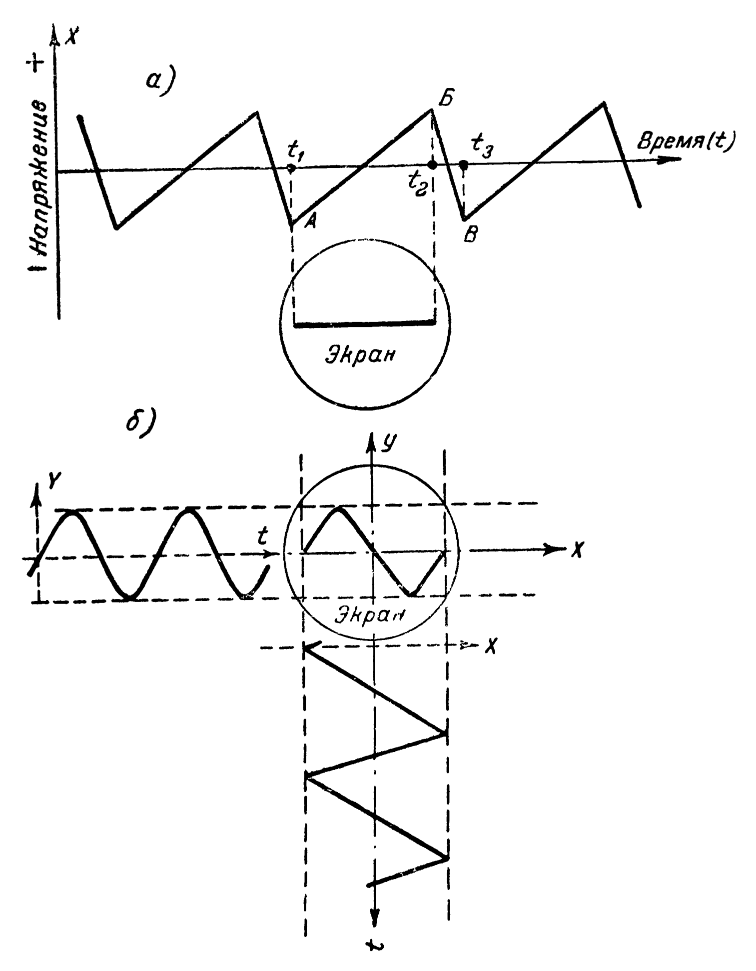
очень много типов развертки в зависимости от специальных применений осциллоскопов (например, в телевидении и радиолокации).

Посмотрим более подробно, каким образом можно получить ось времени, т. е. осуществить развертку времени. Если включить на горизонтальные пластины (которые часто называют пластинами времени) периодическое напряжение, изменяющееся по кривой фиг. 12,*а*, то в момент времени t_1 на пластинах появится полное отрицательное напряжение (точка *А*), и световое пятно на экране трубки переместится к левому краю. От t_1 до t_2 напряжение увеличивается пропорционально времени до полного положительного значения (точка *Б*); вместе с этим световое пятно будет перемещаться от левого края до правого, а затем в короткий промежуток времени, практически очень малый, скачком возвратится в исходное положение на левый край экрана, чтобы снова повторить этот путь. Если частота развертывающего напряжения достаточно велика, то на экране мы увидим устойчивое изображение прямой линии, представляющей собой равномерную шкалу времени. Развертывающее напряжение такого вида называют пилообразным напряжением, так как форма кривой его напоминает зубцы пилы.

Равномерное перемещение светового пятна по экрану от левого края до правого, соответствующее пологой части зубца (от точки *А* до точки *Б*), называется прямым ходом луча, а скачкообразное перемещение пятна от правого края до левого, соответствующее крутой части зубца (от точки *Б* до точки *В*) называется обратным ходом луча.

Если к горизонтальным пластинам осциллографа приложить развертывающее напряжение, а к вертикальным пластинам — исследуемое переменное напряжение, то на экране осциллографа вы увидите покоящееся или перемещающееся, в зависимости от соотношения частот исследуемого или пилообразного напряжения, изображение кривой исследуемого напряжения. При кратном соотношении их частот изображения будут неподвижными. Если частоты обоих напряжений равны, то на экране вы увидите одно полное колебание исследуемого напряжения (фиг. 12,*б*). Если частота пилообразного напряжения вдвое меньше, чем частота исследуемого напряжения, то на экране появится два полных колебания исследуемого напряжения, и т. д. Другими словами, величина отношения частот определяет масштаб времени.

Источники пилообразного напряжения, как правило, замон-



Фиг. 12. Развертка времени.

а — напряжение, пропорциональное времени, приложено к горизонтально отклоняющим пластинам; *б* — одновременно к вертикально отклоняющим пластинам приложено исследуемое переменное напряжение.

тированы в осциллограф, причем частоту этого напряжения можно в известных пределах устанавливать по желанию.

В том случае, если в электроннолучевой трубке применяется электромагнитное отклонение, для развертки применяют пилообразный ток, так как величина отклонения электронного пучка зависит от силы тока в отклоняющих катушках.

КАК ПОЛУЧИТЬ ПИЛООБРАЗНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ИЛИ ПИЛООБРАЗНЫЙ ТОК

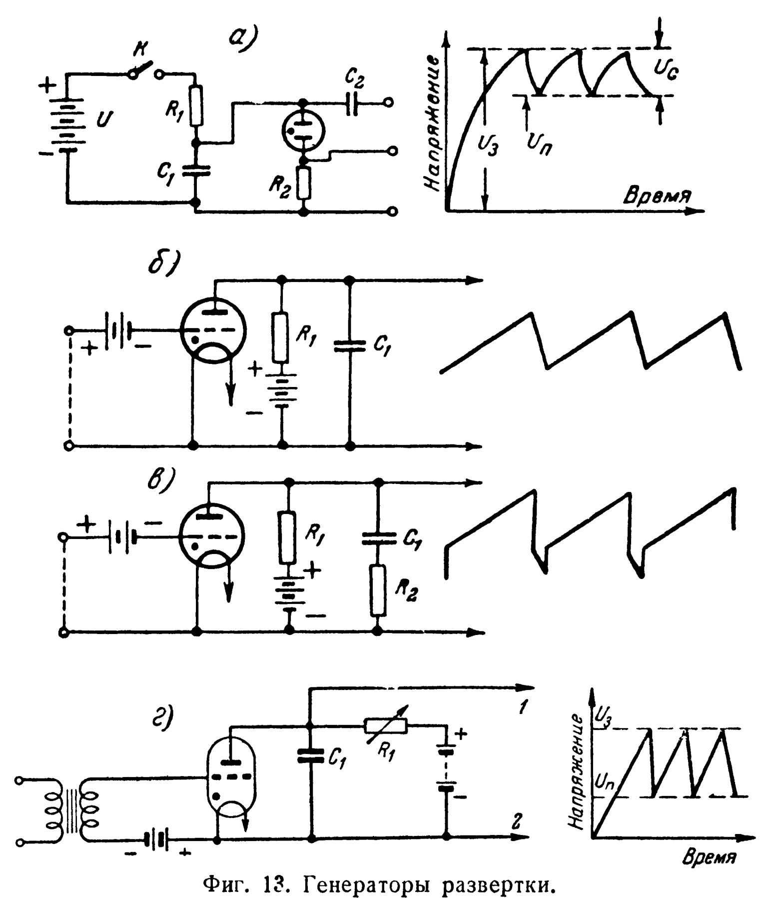
Как известно, неоновая лампа зажигается и погасает при определенных напряжениях, которые соответственно называются напряжением зажигания ($U_з$) и напряжением погасания ($U_п$). Обратимся к схеме так называемого простого генератора развертки с неоновой лампой (фиг. 13,*а*). Замкните ключ K; тогда конденсатор C_1 будет заряжаться от батареи U через большое сопротивление R_1 до тех пор, пока напряжение на обкладках конденсатора не будет равно напряжению зажигания неоновой лампы. В этот момент лампа вспыхнет, ее сопротивление резко уменьшится и конденсатор быстро разрядится через нее до напряжения погасания лампы. В этот момент лампа гаснет и конденсатор снова начнет заряжаться. Зависимость напряжения U_c на конденсаторе от времени в процессе зарядов и разрядов изобразится кривой пилообразной формы. Частота пилообразного напряжения зависит от напряжения батареи, напряжений зажигания и погасания лампы и произведения $R_1 \cdot C_1 = t_1$, так называемой постоянной времени, и может регулироваться изменением величины R_1 или C_1. Амплитуда пилообразного напряжения определяется разностью между напряжением зажигания и напряжением погасания неоновой лампы. Этим же определяется и длина пологой части зубца, которая в свою очередь определяет длину прямого хода луча, т. е. длину развертки.

Эта схема генератора обладает двумя основными недостатками:

1. Разность напряжений зажигания и погасания неоновой лампы сравнительно невелика. Поэтому длина развертки получается малой.

2. Пологая часть зубца имеет кривизну, — это значит, что напряжение на конденсаторе растет не строго пропорционально времени и развертка получится не совсем линейной, т. е. шкала времени получается неравномерной. Можно улучшить линейность развертки в этой схеме, если при очень высоком напряжении батареи и большом сопротивлении R_1 использовать только небольшую часть пологой части зубца, но тогда длина развертки будет еще меньше и батарея будет очень мало использоваться.

Если неоновую лампу заменить тиратроном, то развертку можно сделать линейной, а длину развертки значительно большей. Тиратрон представляет собой трехэлектродную газо-



Фиг. 13. Генераторы развертки.

а — генератор пилообразного напряжения с неоновой лампой и форма кривой напряжения в этом случае; *б* — генератор пилообразного напряжения с тиратроном; *в* — генератор пилообразного тока с тиратроном; *г*—генератор развертки для осциллоскопов.

наполненную лампу, напряжение зажигания которой зависит от величины отрицательного напряжения на сетке. Так как напряжение погасания тиратрона — величина практически постоянная, то, регулируя напряжение на сетке, можно увеличивать или уменьшать разность между напряжением зажигания и напряжением погасания, т. е. регулировать амплитуду пилообразного напряжения. С помощью тиратрона можно построить генераторы пилообразного напряжения или генераторы пилообразного тока, работающие автоматически или

управляющиеся от постороннего устройства (так называемого **генератора импульсов**). На фиг. 13,*б* и 13,*в* вы видите схемы типичных генераторов пилообразного напряжения и пилообразного тока, применяющихся в радиолокации и в телевидении, а на фиг. 13,*г* — схему генератора пилообразного напряжения, применяющегося в лабораторных осциллоскопах.

Обратимся к фиг. 13,*б*. Напряжение сеточной и анодной батареи выбраны так, что тиратрон заперт и конденсатор C_1 остается заряженным до тех пор, пока на сетку тиратрона не поступит управляющий импульс, уменьшающий отрицательное напряжение на ней и отпирающий тиратрон. Конденсатор C_1 будет разряжаться до тех пор, пока действует управляющий импульс. При прекращении импульса тиратрон снова запирается и конденсатор C_1 снова заряжается через сопротивление R_1 до прихода очередного управляющего импульса. Таким образом конденсатор C_1 будет заряжаться и разряжаться с частотой управляющих импульсов и при отсутствии их генератор работать не будет. Амплитуда пилообразного напряжения в этой схеме регулируется сопротивлением R_1 (изменяется время зарядки конденсатора C_1). Обратимся теперь к генератору пилообразного напряжения на фиг. 13,*г*. Этот генератор работает автоматически и частота пилообразного напряжения зависит от постоянной времени R_1C_1, а амплитуда пилообразного напряжения регулируется величиной отрицательного напряжения на сетке тиратрона.

При определенном напряжении на сетке тиратрон заперт и конденсатор C_1 будет заряжаться через сопротивление R_1 до величины напряжения зажигания тиратрона ($U^з$). В этот момент тиратрон вспыхнет и конденсатор C_1 быстро разрядится до величины напряжения погасания тиратрона. Последний гаснет и конденсатор C_1 снова начнет заряжаться и т. д. Таким образом, генератор работает автоматически и напряжение на его выходе (точки *1—2*) имеет пилообразную форму. Для того, чтобы стабилизовать частоту пилообразного напряжения, к сетке тиратрона (обычно через трансформатор) подводят синхронизирующее напряжение.

Существует достаточно много типов генераторов пилообразных напряжений и токов. Кроме того, существует и много типов специальных разверток. С некоторыми из них мы познакомимся в примерах практического применения осциллоскопов.

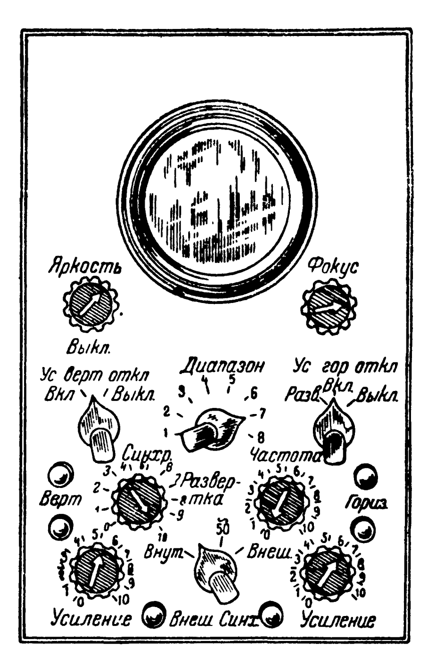
ЧТО ТАКОЕ СИНХРОНИЗАЦИЯ

Синхронизация или, иначе, одновременность— это согласование во времени двух процессов, например: исследуемого напряжения на вертикальных отклоняющих пластинах электроннолучевой трубки и развертывающего напряжения на горизонтальных отклоняющих пластинах. Для чего необходима в этом случае синхронизация? Вы хотите, например, рассмотреть или сфотографировать изображение кривой исследуемого процесса. Это с успехом можно сделать, если изображение на экране трубки будет неподвижным. Я уже упоминал, что неподвижные изображения получаются в том случае, если частота развертки точно равна частоте исследуемого напряжения или если она больше или меньше последней в кратное число раз. Если одна частота немного больше или меньше другой, то изображение будет медленно передвигаться по экрану влево или вправо. При соответствующем устройстве генератора развертки частота последней может регулироваться в определенных пределах; поэтому всегда может быть достигнута кратность частоты развертки в отношении частоты исследуемых колебаний. Частота генераторов пилообразного напряжения недостаточно стабильна, поэтому изображение все же будет перемещаться по экрану. Этот недостаток можно устранить, а следовательно, получить устойчивое неподвижное изображение, если генератор развертки синхронизировать с частотой исследуемого напряжения (или какого либо другого, например напряжения осветительной сети 50 *гц*). Эта синхронизация достигается тем, что в цепь сетки тиратрона генератора развертки последовательно с постоянным напряжением смещения подводится небольшая (по сравнению с величиной смещения) часть исследуемого напряжения (сигнала), тогда частота генератора стабилизуется с частотой сигнала. И во всех случаях, когда между частотой развертки и частотой сигнала существует кратное соотношение, на экране трубки будут получаться устойчивые изображения сигнала за время четверти, половины, одного и т. д. периодов.

ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР СХЕМЫ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОГО ОСЦИЛЛОСКОПА

Электроннолучевой осциллоскоп обычно выполняется в виде компактного прибора, в котором смонтированы электроннолучевая трубка, источники питания, генератор развертки (один или два) и другие вспомогательные устройства и органы уп-

равления. В зависимости от назначения и применяемых трубок электроннолучевые осциллоскопы могут иметь достаточно простые и достаточно сложные схемы. В качестве примера рассмотрим, как наиболее простую, схему ранее выпускавшегося отечественного осциллоскопа типа ОКР-3, панель управления которого изображена на фиг. 14, а принципиальная схема на фиг. 15. Основными элементами этого осциллоскопа являются: вакуумная электроннолучевая трубка, усилители вертикального и горизонтального отклонения, генератор развертки, выпрямители и органы управления. В данном осциллоскопе используется электроннолучевая трубка с электростатическим управлением типа 906 (с зеленым свечением) или типа 908 (с фиолетовым свечением). Схема такой трубки уже приводилась на фиг. 9.



Фиг. 14. Панель управления электроннолучевого осциллоскопа типа ОКР-3.

Питание осциллоскопа в целом осуществляется от сети переменного тока напряжением 120 или 220 *в* с частотой 50 *гц*. Потребляемая прибором мощность равна приблизительно 50 *вт*.

Напряжение сети подводится к первичной обмотке силового трансформатора *72*, которая может переключаться на 120 или 220 *в*. Накал *6* электроннолучевой трубки осуществляется от обмотки *V*, накал усилительных ламп *1* и *2* — от обмотки *VI* и накал тиратрона *3* — от обмотки *VII* силового трансформатора. Для питания электроннолучевой трубки постоянным напряжением служит выпрямитель, собранный по схеме однополупериодного выпрямления на кенотроне типа 879(*4*). Повышающей обмоткой служит часть вторичной обмотки *II* трансформатора между точками *а—в*. Выпрямленное напряжение подается на делитель напряжения, составлен-

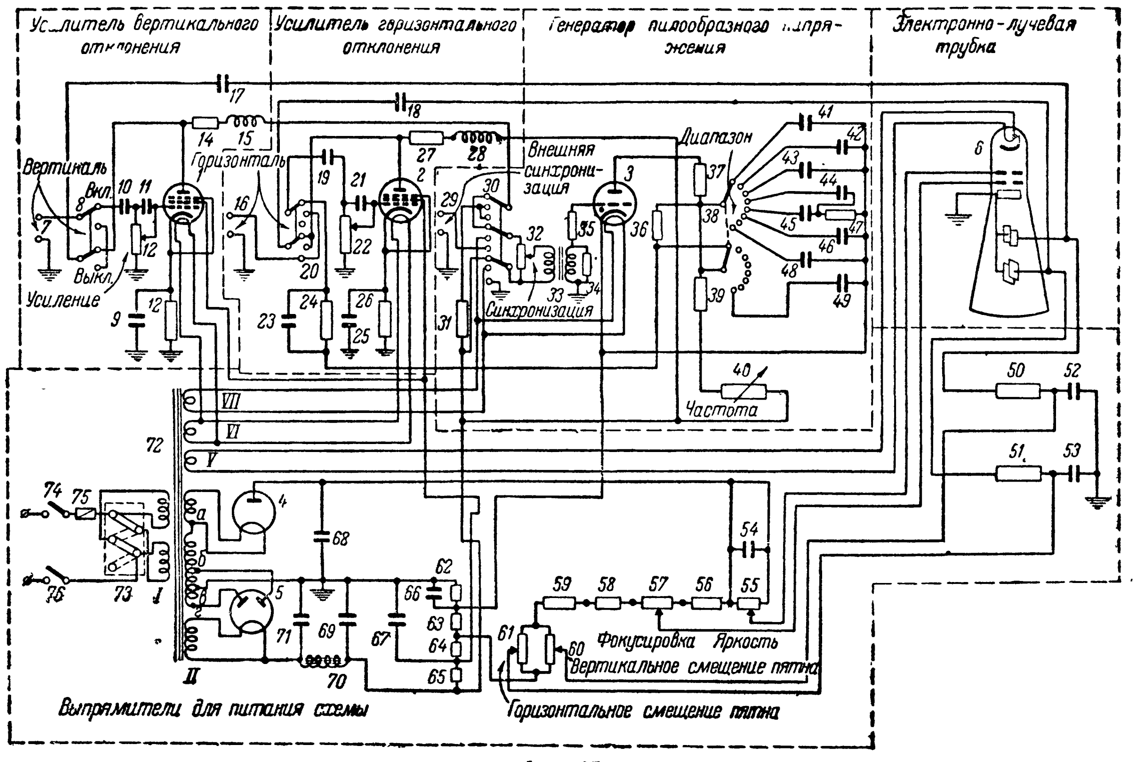
ный из постоянных сопротивлений *56*, *58*, *59*, *63*, *62* и потенциометров *55*, *57*, *60*, *61*. С соответствующих точек делителя снимаются напряжения на катод, сетку, первый анод (фокусирующий) и второй анод (ускоряющий) электроннолучевой трубки. Питание постоянным напряжением усилительных ламп *1—2* и тиратрона *3* производится от выпрямителя, собранного по схеме двухполупериодного выпрямления на лампе 5Ц4 (*5*). Повышающей обмоткой в этом случае служит часть вторичной обмотки *II* между точками *б — г*. Выпрямленное напряжение после фильтра (конденсаторы *71*, *69*, дроссель *70*) подается на делитель напряжения, состоящий из постоянных сопротивлений *65*, *64*, *63*, *62*. С соответствующих точек этого делителя снимаются напряжения на лампы усилителей вертикального и горизонтального отклонения и на генератор развертки.

Регулирование яркости производится подачей на сетку электроннолучевой трубки небольшого отрицательного (относительно катода) напряжения, снимаемого с потенциометра *55*. Вращая ручку потенциометра «Яркость» на панели управления осциллоскопа, можно установить желаемую яркость светового пятна на экране электроннолучевой трубки.

Регулирование резкости (фокусировка) производится изменением напряжения на фокусирующем аноде электроннолучевой трубки с помощью потенциометра *57*. Вращая ручку потенциометра «фокус», можно получить небольшое резко очерченное световое пятно.

Центрирование и смещение светового пятна (или всего изображения) производится изменением постоянного напряжения, подведенного к конденсаторам вертикального и горизонтального отклонения электроннолучевой трубки. Для этого служат потенциометры *60* и *61*. В данном типе осциллоскопа оси этих потенциометров на панель управления не выведены и доступ к ним возможен через два отверстия на боковой стенке кожуха прибора. В других, более совершенных, осциллоскопах оси с ручками этих потенциометров выведены на переднюю панель управления, что дает возможность более удобно центрировать пятно и смещать его по желанию в любом направлении, т. е. передвигать в любом направлении по экрану и те изображения, которые на нем получаются.

Усилители вертикального и горизонтального отклонений применяются для того, чтобы повысить чувствительность электроннолучевой трубки по вер-



Усилитель вертикального отклонения
Усилитель горизонтального отклонения
Генератор пилообразного напряжения
Электронно-лучевая трубка
Вертикаль
Вкл.
Выкл.
Усиление
Горизонталь
Внешняя синхронизация
Синхронизация
Диапазон
Частота
Фокусировка
Яркость
Вертикальное смещение пятна
Горизонтальное смещение пятна
Выпрямители для питания схемы

Фиг. 15.

тикальному и горизонтальному отклонениям в том случае, если величина исследуемого или развертывающего напряжения недостаточна для получения требуемого отклонения. Чувствительность этого осциллоскопа без усилителей составляет: по вертикальному отклонению около 0,7 *мм/в*, а по горизонтальному отклонению около 0,4 *мм/в*. Для повышения чувствительности исследуемые напряжения подаются к отклоняющим пластинам через усилители. Оба усилители собраны на пентодах 6Ж7. В этом случае максимальная чувствительность осциллоскопа составляет: по вертикальному отклонению около 16 *мм/в*, а по горизонтальному отклонению около 12 *мм/в*. Чувствительность по обоим отклонениям может изменяться при помощи потенциометров *12* и *22*, включенных на входах усилителей.

Вы знаете, что одним из электрических показателей усилителя является его частотная характеристика. Если в определенной полосе частот она достаточно линейна (мало отклоняется от прямой линии), то все напряжения с частотами, лежащими в полосе пропускания усилителя, будут усиливаться одинаково, и результаты измерений при исследовании напряжений с различными частотами будут правильны. Частотная характеристика зависит от входной емкости усилителя. Чем больше входная емкость, тем меньше усиление на высоких частотах. В рассматриваемом осциллоскопе входная емкость равна 50 *мкмкф*, и поэтому частотная характеристика усили-

---

Фиг. 15. Схема электроннолучевого осциллоскопа типа ОКР-3.

_1,2_ — лампы т. 6Ж7; *3* — **лампа (тиратрон) т.** 885; *4* — **лампа (кенотрон) т. 879;** *5* — **лампа т.** 5Ц4; *6* — **электроннолучевая трубка т. 90[illegible] или** 908; *7* — **зажимы входа усилителя вертикального отклонения;** *8* — выключатель усилителя вертикального отклонения; *9* — конденсатор 3 400 *мкмкф*; *10* — конденсатор 0,25 *мкф*; *11* — конденсатор 20 *мкмкф*; *12* — потенциометр 500 000 *ом*; *13* — сопротивление 1 400 *ом*; *14* — сопротивление 100 000 *ом*; *15* — дроссель высокой частоты; *16* — зажимы входа усилителя горизонтального отклонения; *17*, *18*, *19* — конденсаторы 0, 25 *мкф*; *20* — переключатель усилителя горизонтального отклонения и развертки; *21* — конденсатор 20 *мкмкф*; *22* — потенциометр 500 000 *ом*; *23* — конденсатор 35 *мкмкф*; *24* — сопротивление 150 000 *ом*; 25 — конденсатор 3 400 *ом*; *26* — сопротивление 1 200 *ом*; *27* — сопротивление 100 000 *ом*; *28* — дроссель высокой частоты; *29* — зажимы внешней синхронизации; *30* — переключатель синхронизации; *31* — сопротивление 1 000 *ом*; *32* — потенциометр 2 000 *ом*; трансформатор 1:1; *34* — сопротивление 25 000 *ом*; *35* — сопротивление 10 000 *ом*; *36* — сопротивление 300 000 *ом*; *37* — сопротивление 240 *ом*; *38* переключатель диапазона развертки; *39* — сопротивление 470 000 *ом*; *40* — сопротивление переменное *2 мгом*; *41* — конденсатор 400 *мкмкф*; *42* — конденсатор 1 350 *мкмкф*; *43* — конденсатор 3 500 *мкмкф*; *44* — конденсатор 0,015 *мкф*; *45* — конденсатор 0,035 *мкф*; *46* — сопротивление 600 *ом*; *47* — конденсатор 0,1 *мкф*; *48*, *49* — конденсаторы 0,25 *мкф*; *50* — сопротивление 1 *мгом*; *51* — сопротивление 0,5 *мгом*; *52*, *53* — конденсаторы 0,25 *мкф*; *54* — конденсатор 1 500 *в*; *55* — потенциометр 100 000 *ом*; *56* — сопротивление 280 000 *ом*; *57* — потенциометр 300 000 *ом*; *58*, *59* — сопротивление 400 000 ом; *60*, *61* — потенциометры 500 000 *ом*; *62* — сопротивление 800 *ом*; *63*, *64* — сопротивления 8 200 *ом*; *65* — сопротивление 36 000 *ом*; *66* — конденсатор электролитический 20 *мкф*; *67* — конденсатор электролитический 10 *мкф*; *68* — конденсатор 1 500 *в*; *69*, *71* — конденсатор 2 *мкф*, *600 в*; *70* — дроссель фильтра; *72* — трансформатор силовой; *73* — колодка переключения сети; *74* — включатель сети; *75* — предохранитель на 1 *а*; *76* — блокирующий выключатель.

телей в полосе частот от 15 до 50 000 *гц* отклоняется от прямой на 10%, что практически удовлетворительно. Если исследуемые напряжения подавать непосредственно на отклоняющие конденсаторы (отклоняющие пластины электроннолучевой трубки), емкость которых очень мала, то можно исследовать напряжения с более высокими частотами (до 1 млн. *гц*). В осциллоскопе эта возможность предусмотрена. Для этого в усилителях вертикального и горизонтального отклонений имеется переключатель *8* на два положения: «вкл», и «выкл». Если поставить переключатель в положение «вкл», то исследуемое переменное напряжение, подведенное к зажимам *7*, подается на усилитель, а после усиления — на вертикально отклоняющие пластины электроннолучевой трубки. В положении переключателя «выкл» исследуемое напряжение подключается непосредственно к отклоняющим пластинам. В усилителе горизонтального отклонения имеется переключатель *20* на три положения: «разв», «вкл», «выкл». В положении «разв» напряжение от генератора развертки (см. ниже) подается на усилитель, а затем, уже усиленное, — на горизонтально отклоняющие пластины электроннолучевой трубки. В положении «вкл» развертывающее напряжение отключается, а какое-либо переменное напряжение, подведенное к зажимам *16*, подается на вход усилителя горизонтального отклонения, усиливается и поступает на горизонтально отклоняющие пластины электроннолучевой трубки. В положении «выкл» переменное напряжение с зажимов *16* поступает непосредственно на отклоняющие пластины.

Развертка получается с помощью генератора пилообразного напряжения на тиратроне 885 (лампа *3*). Принцип работы подобного генератора развертки вам уже известен. Пилообразное напряжение получается в результате медленного заряда конденсатора через сопротивление до напряжения зажигания тиратрона и быстрого разряда этого конденсатора, через тиратрон до напряжения его погасания. Так как время заряда конденсатора значительно больше, чем время разряда, то период (или частота) развертки при определенном напряжении зажигания тиратрона в основном определяется величиной емкости конденсатора и величиной сопротивления, через которое он заряжается. В данном генераторе необходимое напряжение зажигания тиратрона устанавливается определенной величиной отрицательного напряжения на его сетке. Для этого служит сопротивление *62* в цепи катода тиратрона. Частота пилообразного напряжения регулируется скачкообразно —

переключением конденсаторов *41*, *42*, *43*, *44*, *45*, *46*, *47*, *48*, *49* и плавным изменением величины сопротивления *40*. Переключение конденсаторов производится переключателем *38*, ручка которого выведена на панель управления и обозначена «диапазон — развертка». Ручка сопротивления *40* обозначена на панели управления «частота». Частоту пилообразного напряжения в этом генераторе можно менять переключением конденсаторов и изменением сопротивления от 15 до 15 000 *гц*.

Синхронизация частоты пилообразного напряжения и частоты исследуемого напряжения осуществляется подачей через трансформатор *33* на сетку тиратрона части исследуемого напряжения и регулируется потенциометром *32*. Если обе частоты отличаются друг от друга незначительно или отличаются в целое число раз, то при достаточной амплитуде подводимого к сетке тиратрона напряжения частота генератора развертки синхронизируется с частотой исследуемого напряжения, а на экране электроннолучевой трубки будут получаться неподвижные изображения. Для того, чтобы иметь возможность получить синхронизацию с помощью других переменных напряжений, в схеме имеются зажимы *29* и переключатель *30* на три положения. На панели эти зажимы имеют надпись «внешняя синхронизация», а три положения переключателя — «внутр», «50» и «внеш». При положении переключателя «внутр» усиленное исследуемое напряжение подается на потенциометр *32*, ручка которого обозначена на панели «Синхрон», затем на трансформатор *33* и на сетку тиратрона. При положении переключателя «50» потенциометр *32*, а следовательно, и трансформатор оказывается подключенным параллельно накальной цепи тиратрона. Таким образом, для синхронизации используется напряжение сети переменного тока с частотой 50 *гц*, которая и стабилизирует частоту генератора развертки. При положении переключателя «внеш» к потенциометру *32* подключаются зажимы *29*. Для получения внешней синхронизации к этим зажимам нужно подключить внешний источник переменного напряжения, частота которого должна быть устойчивой.

ГДЕ И КАК ПРИМЕНЯЮТСЯ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВЫЕ ОСЦИЛЛОСКОПЫ

В начале своего рассказа о том, что такое электроннолучевой осциллоскоп, я уже упоминал о некоторых основных применениях осциллоскопа. Применение электроннолучевых осциллоскопов различной конструкции чрезвычайно обширно

и захватывает очень много областей науки и техники. Достаточно указать хотя бы на некоторые из них: электротехника слабых и сильных токов, механика и акустика, медицина и биология, геология и т. д. Там, где неэлектрические процессы, не поддающиеся исследованию с помощью обычных приборов, могут быть представлены в виде электрических процессов, можно с успехом применять электроннолучевой осциллоскоп. Трудно обо всем рассказать в этой маленькой книжке. Я расскажу вам только о некоторых случаях обычного и специального применения электроннолучевого осциллоскопа.

ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОСКОП КАК ВОЛЬТМЕТР И АМПЕРМЕТР ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКОВ

Вам уже известно, что отклонение светового пятна на экране осциллоскопа пропорционально величине напряжения, подведенного к отклоняющим пластинам. Если, например, к вертикально отклоняющим пластинам подвести измеряемое постоянное напряжение, то световое пятно отклонится по вертикали вверх или вниз (в зависимости от знака напряжения) на определенное расстояние от первоначального положения. Если измерить это расстояние (в *мм*) и разделить его на чувствительность осциллоскопа по вертикальному отклонению (в *мм/в*), то в результате получим величину измеряемого напряжения (в *в*). Таким же образом можно измерить и величину силы тока. Для этого надо измерить напряжение на том сопротивлении, через которое проходит ток, а затем разделить величину измеренного напряжения на величину этого сопротивления. Если измеряемое напряжение постоянного тока подводится непосредственно к горизонтально отклоняющим пластинам, то измеренное отклонение светового пятна нужно делить на чувствительность осциллоскопа по горизонтальному отклонению. Измерения постоянного напряжения или тока обычно осциллоскопом не производятся, так как «шкала» его мала и более удобно использовать обычные вольтметры и амперметры. При измерении переменного напряжения, приложенного к одной паре отклоняющих пластин, на экране, как вы знаете, появляется прямая линия, длина которой пропорциональна удвоенной амплитуде измеряемого напряжения. Если измерить длину прямой линии (в *мм*) и разделить ее на чувствительность осциллоскопа по отклонению (в *мм/в*) и разделить полученный результат еще на 2, то получим величину амплитуды переменного напряжения (в *в*). Таким же образом

можно измерить и силу переменного тока (в *а*), если известна величина сопротивления (в *ом*), по которому этот ток проходит.

Если измеряемое переменное напряжение мало, то его предварительно усиливают с помощью усилителя осциллоскопа. В этом случае для определения напряжения длина прямой делится на величину чувствительности осциллоскопа с усилителем.

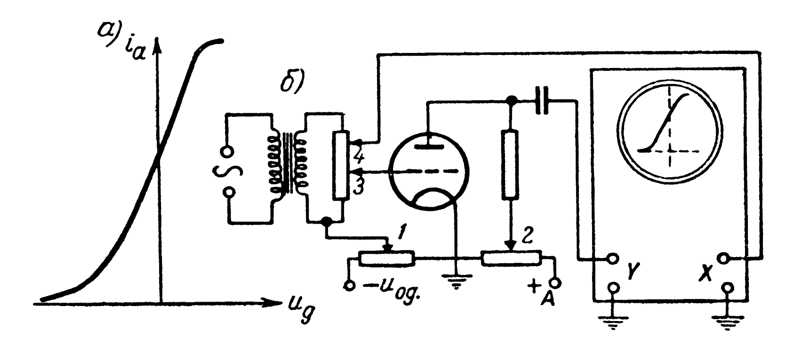
ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОСКОП КАК ЧАСТОТОМЕР

Если одновременно к вертикально отклоняющим пластинам осциллоскопа (непосредственно или через усилитель) подвести переменное напряжение с неизвестной частотой, а к горизонтально отклоняющим пластинам — переменное напряжение, частота которого известна и может регулироваться по желанию, то по неподвижным фигурам Лиссажу можно определить, как вы уже знаете, неизвестную частоту. Форма фигур Лиссажу зависит от формы кривых, соотношения частот и фаз обоих переменных напряжений. В случае, когда оба напряжения имеют синусоидальную форму, фигуры Лиссажу в зависимости от соотношения частот и фаз приложенных напряжений получаются согласно знакомому вам рисунку (фиг. 11).

С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОГО ОСЦИЛЛОСКОПА МОЖНО НАБЛЮДАТЬ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП

Вы знаете, что зависимость анодного тока лампы от напряжения на сетке выражается кривой, изображенной на фиг. 16. Эту кривую можно увидеть непосредственно на экране осциллоскопа. На той же фиг. 16 показана схема для наблюдения характеристик ламп. К сетке испытуемой лампы и одновременно к горизонтально отклоняющим пластинам (непосредственно или через усилитель) подводится переменное напряжение от одного и того же источника тока. Амплитуда переменного напряжения на сетке лампы должна быть такой, чтобы при отрицательном полупериоде лампа запиралась (анодный ток равен нулю), а при положительном полупериоде анодный ток достигал тока насыщения. Таким образом, при изменении напряжения на сетке лампы анодный ток ее будет меняться от нуля до величины тока насыщения. Падение напряжения на анодном сопротивлении лампы будет тоже меняться и повторять форму кривой анодного тока. Если это напряжение подвести к усилителю вертикального отклонения одновременно

с переменным напряжением на горизонтально отклоняющих пластинах, то на экране осциллоскопа появится фигура Лиссажу в виде характеристики электронной лампы. Если испытуемую лампу поставить в рабочий режим, то характеристика будет динамической. Для получения статической характеристики величину анодного сопротивления нужно выбрать малой по сравнению с внутренним сопротивлением лампы. С помощью фотографического устройства можно характеристику сфотографировать. Если по истечении некоторого времени, не-



Фиг. 16. Наблюдение характеристик ламп.

а — характеристика лампы; *б* — схема для наблюдения характеристик ламп; *1* — установка смещения; *2* — установка анодного напряжения; *3* — установка амплитуды переменного напряжения на сетке лампы; *4* — то же на горизонтально отклоняющих пластинах осциллоскопа.

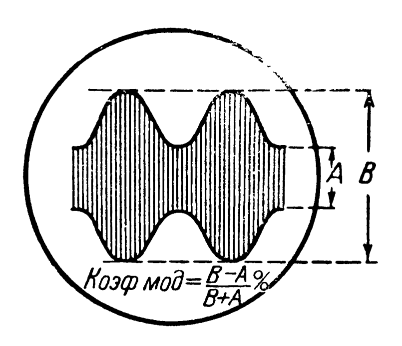
обходимого для экспозиции, изменить анодное напряжение лампы, то можно сфотографировать на той же пластинке еще одну характеристику, т. е. можно получить семейство характеристик на одном снимке. Так как чувствительность осциллоскопа по вертикальному и горизонтальному отклонениям известна, то по снимку можно вычислить параметры электронной лампы.

НАБЛЮДЕНИЕ ФОРМЫ КРИВОЙ ПЕРЕМЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Основные сведения об этом я уже рассказал вам подробно раньше. Практически поступают следующим образом. К зажимам усилителя вертикального отклонения подводят исследуемое напряжение и включают генератор развертки (в рассмотренном нами осциллоскопе переключатель усилителя горизонтального отклонения устанавливается в положение «разв»). На экране осциллоскопа появится изображение ис-

следуемого напряжения. Изменяя частоту развертки, можно получить на экране изображение одного и нескольких периодов исследуемого напряжения.

Если частота генератора развертки недостаточна для наблюдения переменных напряжений с более высокой частотой, то к зажимам усилителя горизонтального отклонения подводят напряжение от внешнего генератора развертки большей частоты. Внутренний генератор развертки в этом случае выключают. Если к вертикальным пластинам подвести модулированное высокочастотное напряжение, то на экране осциллоскопа можно увидеть типичное изображение модулированных колебаний (фиг. 17). По огибающей кривой можно вычислит коэффициент модуляции.



Фиг. 17. Изображение модулированных колебаний на экране электроннолучевой трубки.

На экране электроннолучевого осциллоскопа можно одновременно наблюдать форму кривой двух переменных напряжений. Для этого к вертикально отклоняющим пластинам нужно попеременно подключать то одно, то другое переменное напряжение. Если процесс переключения происходит с достаточной быстротой, то на экране будут видны две отдельные кривые. Таким образом, можно одновременно наблюдать форму кривой напряжений на входе и выходе усилителей, сравнивать напряжения генераторов и т. д.

Попеременное включение двух напряжений на вход какого-либо устройства совершается с помощью специальных переключателей, из которых наиболее совершенными являются так называемые электронные переключатели (или коммутаторы). В настоящее время имеются электроннолучевые осциллоскопы, позволяющие одновременно наблюдать две или более кривых без помощи каких-либо переключателей. Для этого в осциллоскопах применяются электроннолучевые трубки с двумя и даже тремя отдельными электронными пучками, управляющиеся независимо друг от друга. Флуоресцирующий экран — один, общий для всех электронных пучков. Для того, чтобы сравнивать кривые в их правильном фазовом положении относительно друг друга (в одном масштабе вре-

мени), развертка всех электронных пучков производится одним генератором развертки.

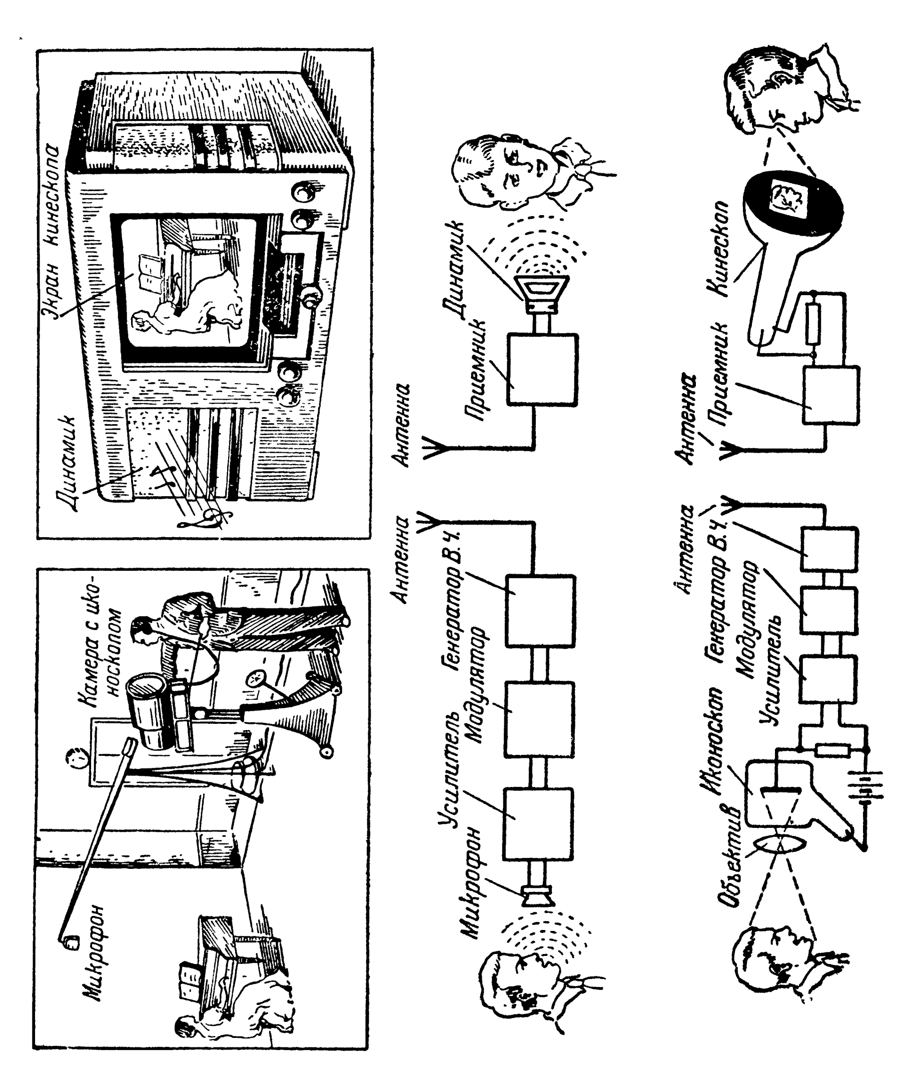
До сих пор, товарищ читатель, я вам рассказывал об обычном, так сказать, лабораторном применении электроннолучевого осциллоскопа. Это лишь незначительная часть тех возможностей, которыми обладает электроннолучевой осциллоскоп сам по себе или в сочетании с дополнительными устройствами. На примерах того, как используется электроннолучевой осциллоскоп в телевидении и радиолокации, вы узнаете, каким образом с помощью осциллоскопа можно видеть, измерять время, определять расстояние и направление и т. д.

ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОСКОП В ТЕЛЕВИДЕНИИ

Прежде всего обратимся к основным телевизионным электроннолучевым трубкам. Сравните схемы передачи и приема звука и схемы передачи и приема изображения (фиг. 18). При передаче и приеме звука для преобразования звуковых колебаний в электрические и обратно служат микрофон и динамик. При передаче и приеме изображений для преобразования световых импульсов в электрические колебания и обратно служат специальные передающие и приемные электроннолучевые трубки — иконоскоп и кинескоп.

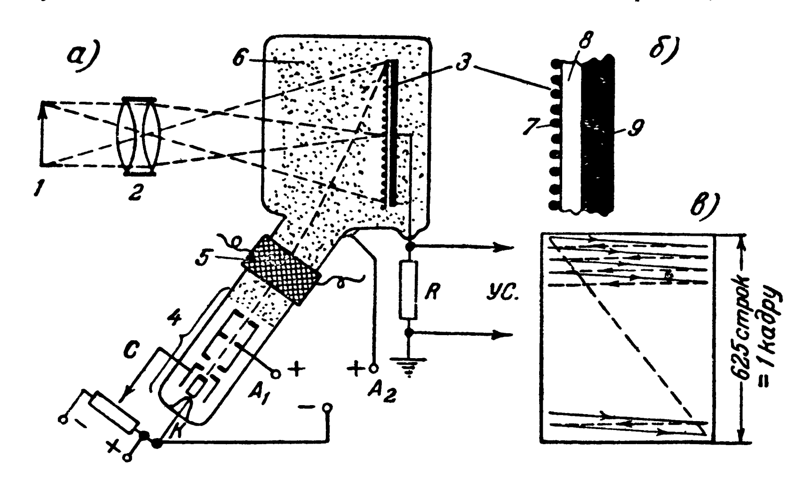
ПЕРЕДАЮЩАЯ ТЕЛЕВИЗИОННАЯ ТРУБКА

Каким образом световые импульсы, отраженные от передаваемого объекта, преобразуются в электрические колебания? Посмотрите, как устроена передающая трубка (иконоскоп) (фиг. 19). В вакуумной колбе несколько иной формы, чем у обычной электроннолучевой трубки, расположены две основные части иконоскопа: в узкой горловине имеется электронная пушка, создающая узкий сфокусированный электронный пучок, а в широкой части иконоскопа — фотоэлемент специального устройства. Второй анод выполнен в виде графитового слоя. Таким образом, иконоскоп является электроннолучевой трубкой, у которой вместо флуоресцирующего экрана имеется специальный фотоэлемент, а электронный пучок, как вы увидите дальше, имеет другое применение. Специальный фотоэлемент иконоскопа называется мозаикой. Здесь необходимо отметить, что впервые передающая электроннолучевая трубка с мозаичным фотоэлементом была предложена советским ученым С. И. Катаевым в 1931 г. и осуществлена в 1932—1933 гг.



Фиг. 18. Передающая и приемная трубки в передаче и приеме изображений выполняют такую же роль, как микрофон и динамик в передаче и приеме звуков.

Чтобы понять, как работает иконоскоп в целом, посмотрим, как устроена и работает его главная часть — мозаика. На листке слюды толщиной 0,025—0,05 *мм* и площадью около 100 *кв. см* (9 × 12 *см*) распылением наносится слой из частиц окиси серебра. Если эту пластинку при определенной температуре обжечь, то серебро восстановится и слюдяная пластинка окажется покрытой большим числом изолированных друг от друга мельчайших (до 0,01 *мм* диаметром) зерен серебра. Эти зерна последующей обработкой покрываются светочувствительным металлом цезием, и, таким образом, слюдя-



Фиг. 19. Устройство и принцип работы передающей трубки.

а — схема передающей трубки; *б* — часть мозаики в увеличенном виде; *в* — растр. *1* — передаваемый предмет; *2* - объектив; *3* — мозаика; *4* — электронная пушка; *5* — отклоняющие катушки; *6* — графитовый слой; *7* — светочувствительные зерна мозаики; *8* — слюдяная пластинка; *9* — сигнальная пластина.

ная пластинка оказывается состоящей из большого числа (больше ста тысяч) отдельных фотоэлементов, образующих так называемый фотоэлектрический растр. На противоположной стороне слюдяной пластинки наносится металлический слой (обычно из платины), называемый сигнальной пластиной. Каждый фотоэлемент образует с сигнальной пластиной маленький конденсатор, т. е. на листке слюды получается множество отдельных конденсаторов с одной общей обкладкой — сигнальной пластиной.

Теперь, когда вы познакомились с устройством мозаики, рассмотрим принцип работы иконоскопа. Передаваемое изо-

бражение с помощью фотообъектива проектируется на мозаику подобно тому, как оптическая система глаза проектирует изображение на сетчатку глаза. Каждый фотоэлемент мозаики под действием света начнет испускать фотоэлектроны в количестве, пропорциональном интенсивности света и продолжительности освещения в данной точке мозаики. Фотоэлектроны притягиваются ко второму аноду, а фотоэлементы приобретают положительные заряды. На мозаике получается как бы электрическое изображение. Каким образом его передать в пространство? Для этого используется электронный пучок, создаваемый электронной пушкой иконоскопа. С помощью отклоняющих катушек электронный пучок заставляет обегать мозаику в определенной последовательности. Этот процесс обегания электронным пучком мозаики называется растровой разверткой или разверткой изображения. Каким образом осуществляется такая развертка, я расскажу вам ниже. Электронный пучок, пробегая по мозаике, своими отрицательными зарядами компенсирует положительные заряды фотоэлементов и тем самым как бы стирает электрическое изображение на мозаике, подготовляя ее к восприятию следующего изображения (кадра). Фотоэлементы в результате компенсации приобретают небольшой отрицательный потенциал по отношению ко второму аноду. Тогда на сигнальной пластине, как на второй обкладке конденсатора, возникают положительные заряды, которые передаются на сетку усилительной лампы в виде токов разряда конденсаторов на сопротивление. Таким образом, на сетку усилительной лампы в процессе развертки приходят сигналы (называемые видеосигналами), пропорциональные освещенности соответствующих участков передаваемого изображения. Видеосигналы усиливаются и используются для передачи согласно схеме фиг. 18.

Рассмотрим более подробно, как происходит развертка изображения на мозаике иконоскопа. Если к вертикально отклоняющим и горизонтально отклоняющим катушкам иконоскопа одновременно подключены отдельные генераторы развертки (генераторы пилообразного тока), то электронный пучок можно заставить обегать мозаику в определенной последовательности и с определенной скоростью. Пусть в первоначальном положении электронный пучок попадает в левый верхний угол мозаики (это можно всегда сделать подобно тому, как производят регулирование положения светового пятна в обычном электроннолучевом осциллоскопе). Если действует

только генератор горизонтальной развертки, то электронный пучок будет перемещаться по горизонтальной линии от левого до правого края мозаики. Если длину горизонтальной развертки сделать равной ширине мозаики, то электронный пучок, дойдя до правого края, скачком возвращается в ту же точку на левый край мозаики, чтобы снова повторить тот же путь и т. д. Этот процесс будет происходить с частотой горизонтальной развертки. Пусть одновременно действует и генератор вертикальной развертки, частота которой значительно меньше частоты горизонтальной развертки, например в 625 раз. Если длину вертикальной развертки сделать равной высоте мозаики, то электронный пучок за время движения от левого края до правого опустится на $^1/_{625}$ высоты мозаики. Таким образом, электронный пучок движется по наклонной линии. Поэтому после скачка на левый край мозаики электронный пучок начнет свое движение по новой наклонной линии, параллельно первой и, дойдя до правого края мозаики, опустится еще на $^1/_{625}$ высоты мозаики. Затем снова скачок и движение по третьей линии, подобной двум первым, и т. д. Этот процесс будет происходить до тех пор, пока электронный пучок не закончит свой путь по 625-й линии и окажется в нижнем правом углу мозаики. В этот момент под действием вертикальной развертки электронный пучок скачком возвратится по диагонали в левый верхний угол мозаики, чтобы вновь и вновь повторить свой путь. Таким образом, электрическое изображение на мозаике иконоскопа разделяется на 625 наклонных линий, называемых с т р о к а м и. 625 строк составляют один к а д р. В соответствии с этим горизонтальная развертка называется с т р о ч н о й р а з в е р т к о й. Один кадр развертывается в течение $^1/_{25}$ секунды или иначе — в 1 сек. развертывается 25 кадров изображения. Число 625 не взято нами случайно. Разделение изображения на 625 строк применяется в современном телевидении. Число 25 тоже не случайное. Вспомните об инерции нашего зрения и 24 кадрах в секунду в кинематографии, о чем я говорил в самом начале моего рассказа. Это есть то достаточное число последовательных кадров, слияние которых благодаря инерции зрительного восприятия создает впечатление непрерывного движения на экране телевизионного приемника.

Итак, теперь вам ясно, что при одновременном применении двух пилообразных разверток получается новый вид развертки — р а с т р о в а я р а з в е р т к а или иначе — р а з в е р т к а и з о б р а ж е н и я, применение которой в иконо-

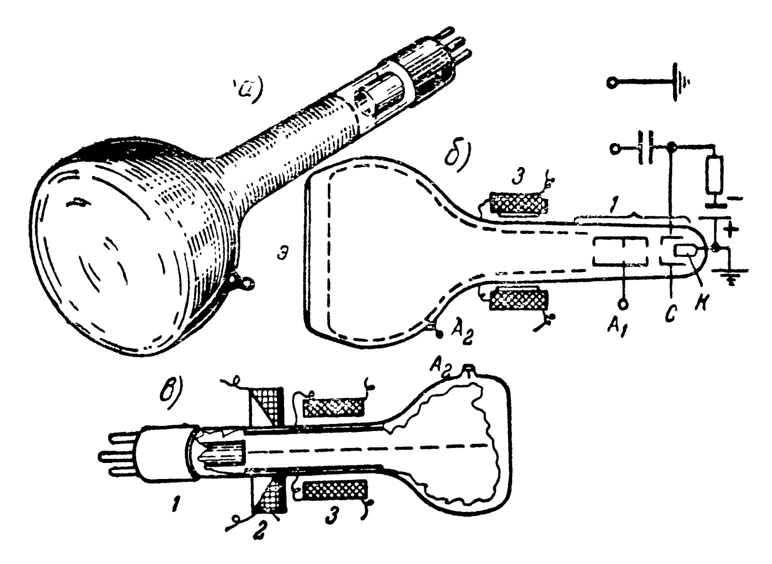
скопе телепередатчика дает возможность передавать в пространство изображения в виде чередующихся видеосигналов различной величины. Если эти видеосигналы принять на телевизионный приемник, в котором они усиливаются и подаются на управляющую сетку приемной трубки (кинескопа), электронный пучок которого обегает экран точно так же (синхронно), как обегает электронный пучок мозаику иконоскопа в передатчике, то на экране кинескопа появится передаваемое изображение. И так как изображений (кадров) на экране будет появляться 25 в секунду, то вы увидите, как и в кино, все, что происходит перед объективом иконоскопа.

В настоящее время существуют и другие типы передающих электроннолучевых трубок, о которых вам, за неимением места, не рассказываю. Например, трубки с переносом изображения, которые впервые были предложены советскими инженерами — С. И. Катаевым в 1933 г. и П. В. Шмаковым и П. В. Тимофеевым тоже в 1933 г.

ПРИЕМНАЯ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВАЯ ТРУБКА

Приемные телевизионные трубки, называемые кинескопами, это не что иное, как уже известные вам электроннолучевые трубки с электростатической (или электромагнитной) фокусировкой и электромагнитным отклонением электронного пучка. На фиг. 20 изображен внешний вид и схема приемной трубки. Отклоняющие катушки укрепляются снаружи на узкой части трубки. Колба приемной трубки имеет удлиненную узкую часть, в которой расположена электронная пушка, и значительно уширенную часть с флуоресцирующим экраном. Узкая горловина трубки нужна для того, чтобы поместить отклоняющие катушки ближе к электронному пучку, а значительно уширенная часть трубки позволяет отклонить электронный пучок по большему экрану. Второй анод трубки представляет собой графитовый слой, которым покрыта внутренняя поверхность колбы приемной трубки (на рисунке изображен пунктиром). Этот слой (аквадаг) имеет несколько назначений. Во-первых, он выполняет роль ускоряющего анода, если в трубке таковой отсутствует. Благодаря высокому положительному напряжению на этом аноде (порядка 6 000 *в*) электроны ударяются об экран с большей энергией, чем достигается значительная яркость изображения. Во-вторых, положительный заряд графитового слоя притягивает вторичные электроны, выделяющиеся при свечении экрана, — в против-

ном случае электроны накапливались бы на экране, который приобрел бы большой отрицательный заряд, отталкивающее действие которого на вновь приходящие электроны привело бы к искажению изображения на экране приемной трубки. В третьих, графитовый слой экранирует электронный пучок от воздействия посторонних магнитных и электростатических полей, нарушающих нормальное поведение электронного пучка.



Фиг. 20. Приемная трубка.

а — внешний вид; *б* — схема приемной трубки; *в* — проекционная приемная трубка. *1* — электронная пушка; *2* — фокусирующая катушка; *3* — отклоняющие катушки.

Экран приемной трубки большей частью покрывается флуоресцирующим составом, дающим белое свечение. Диаметр экрана современной приемной трубки достигает 30—35 *см*. Однако при таких размерах экрана получаются искажения изображения и очень трудно управлять электронным пучком, поэтому для получения больших изображений существуют проекционные приемные трубки.

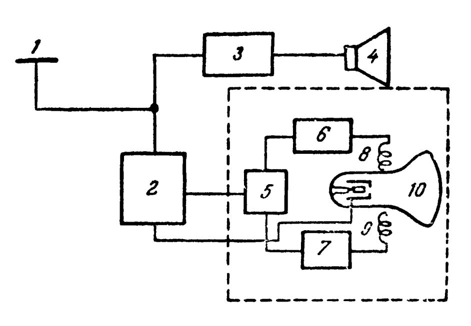
ПРОЕКЦИОННАЯ ПРИЕМНАЯ ТРУБКА

Изображение, полученное на экране трубки, проектируется на большой экран (1—1,5 $м^2$) подобно тому, как проектируется диапозитив в проекционном фонаре. Для того, что-

бы получить на экране трубки необходимое для проекции очень резкое яркое изображение, в этой трубке применяется, во-первых, и электростатическая и электромагнитная фокусировка (диаметр светового пятна имеет около 0,3 *мм*), во-вторых, на второй анод (аквадаг) подается 10 000—12 000 *в*.

ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОСКОП — ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ ПРИЕМНИК

Для того, чтобы преобразовать изображения, передаваемые телепередатчиком, в изображения на экране кинескопа телевизионного приемника, нужно, во-первых, чтобы электронный пучок приемной трубки обегал экран одновременно и в той же последовательности, как обегает мозаику электронный пучок в передающей трубке передатчика, и, во-вторых, чтобы яркость свечения экрана в каждой его точке была пропорциональна яркости освещения соответствующих точек мозаики иконоскопа. Телепередатчик, одновременно с сигналами изображения (видеосигналами), пропорциональными яркости освещения точек мозаики, передает два вида синхронизирующих сигналов — строчных и кадровых. В телеприемнике применяется такая же растровая развертка, как в передатчике. Синхронизирующие сигналы используются для синхронизации генераторов горизонтальной и вертикальной разверток, а видеосигналы подаются на управляющий электрод приемной трубки и используются для так называемой **яркостной модуляции**. Таким образом, телевизонная часть приемника является электроннолучевым осциллоскопом, в котором применяется растровая развертка и яркостная модуляция электронного пучка электроннолучевой трубки с магнитным отклонением. Для того, чтобы вам это стало более понятным,



Фиг. 21. Блок-схема телевизионного приемника.

1 — приемная антенна; *2* — приемник телевизионных сигналов; *3* — приемник звукового сопровождения; *4* — динамик; *5* — устройство для разделения синхронизирующих сигналов; *6* — генератор строчной развертки; *7* — генератор кадровой развертки; *8* — катушки горизонтального отклонения; *9* — катушки вертикального отклонения; *10* — кинескоп.

рассмотрим блок-схему телевизионного приемника (фиг. 21), звуковая часть которого сейчас нас не интересует.

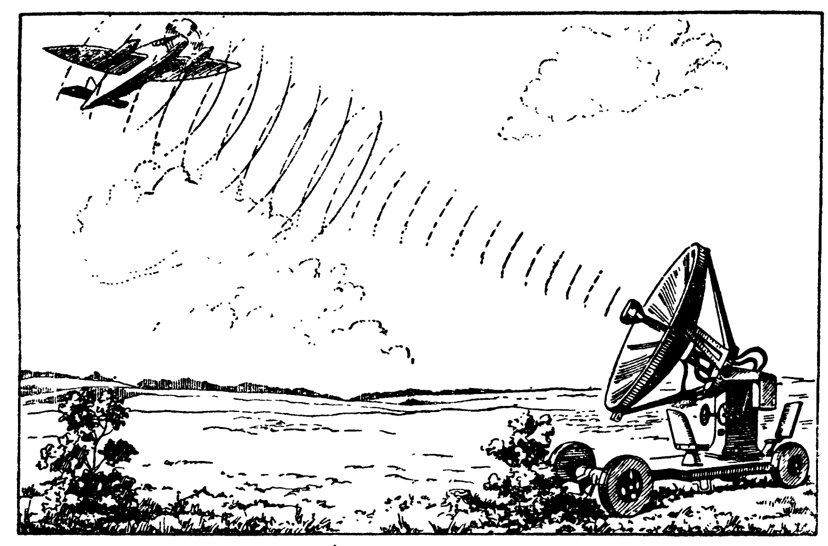
Телевизионные сигналы (видеосигналы и синхронизирующие сигналы — строчные и кадровые), принятые приемником, усиливаются, разделяются и направляются: видеосигналы—на управляющий (модулирующий) электрод приемной трубки, синхронизирующие сигналы — соответственно к двум генераторам пилообразного тока. Сигналы строчной синхронизации подводятся к генератору горизонтальной развертки, сигналы кадровой синхронизации — к генератору вертикальной развертки. Оба генератора соответственно приключены к горизонтально и вертикально отклоняющим катушкам приемной трубки. Генераторы развертки имеют соответственно такие же частоты, какие имеют генераторы развертки электронного пучка в передающей трубке, поэтому электронный пучок приемной трубки будет обегать экран одновременно и в той же последовательности, в какой обегает электронный пучок мозаику передающей трубки в телепередатчике. На экране приемной трубки появится растр, состоящий из 625 строк. Так как строки расположены очень близко друг от друга, то растр будет представляться нашему глазу в виде светящегося прямоугольника. В отсутствии видеосигналов на управляющем электроде приемной трубки нет необходимости, чтобы растр был виден, так как это приводит к преждевременной порче экрана. Поэтому к управляющему электроду приложено постоянное отрицательное напряжение такой величины, что при отсутствии видеосигналов трубка заперта, т. е. электронный пучок не образуется и экран трубки остается темным. Небольшое положительное напряжение в виде видеосигналов, подведенное к управляющему электроду, уменьшает отрицательное напряжение на нем, и трубка отпирается. Таким образом, трубка светится только в том случае, если имеются видеосигналы. Это как раз и нужно. Видеосигналы поступают на управляющий электрод в процессе растровой развертки. Напряжение на управляющем электроде будет изменяться в соответствии с изменением видеосигналов, поэтому будет изменяться и количество электронов в электронном пучке. Это в свою очередь будет вызывать изменения яркости движущегося по экрану светового пятна. В этом состоит яркостная модуляция, о которой я упоминал. Так как процессы развертки в передающей трубке передатчика и в приемной трубке приемника синхронизированы, а изменение видеосигналов пропорцонально освещенности передаваемого предмета, то на

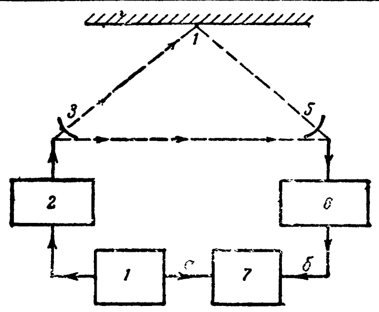
экране приемной трубки появится его соответствующее изображение. Так как телепередатчик передает ежесекундно 25 кадров изображения, то возможна передача не только неподвижных, но и движущихся изображений.

ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОСКОП В РАДИОЛОКАЦИИ

Считая, что вы, товарищ читатель, уже знакомы с популярной литературой о радиолокации, я в своем рассказе ограничусь только теми основными сведениями, которые необходимы для понимания той роли, какую выполняет электроннолучевой осциллоскоп в радиолокационной станции. Радиолокация основана на отражении радиоволн и позволяет в любых условиях дня и ночи, в любое время года обнаруживать и определять местоположение различных объектов, будь то здание или скала на суше, корабль или айсберг на море, самолет или ионизированное облако в воздухе. Для этой цели служат различные по назначению и устройству радиолокационные станции, устанавливаемые в обычных зданиях и специальных постройках, на автомашинах, кораблях, самолетах и т. д.

Несмотря на различие типов и различное назначение радиолокационных станций, все они работают по одному и тому же принципу (фиг. 22). Передатчик радиолокационной станции посылает в пространство радиоволны, которые, встречая на своем пути препятствие, отражаются от него в большей или меньшей степени. Отраженные радиоволны принимаются приемником радиолокационной станции. По отраженным волнам с помощью специального индикатора оператор радиолокационной станции определяет местоположение препятствия (корабль, самолет и т. д.), а в некоторых типах радиолокационных станций даже видит его «изображение». Отраженные радиоволны очень слабы, и обнаружить их во время работы передатчика очень трудно, поэтому передатчик излучает радиоволны в виде кратковременных импульсов электромагнитной энергии высокой частоты одинаковой продолжительности и следующих друг за другом через сравнительно большие, но равные промежутки времени. Продолжительность импульсов энергии составляет миллионные доли секунды (микросекунды). Продолжительность промежутков между импульсами в несколько десятков и сотен раз больше. Промежуток времени между импульсами выбирается немного больше того, который необходим, чтобы радиоволны дошли и





Фиг. 22. Блок-схема радиолокационной станции.

1 — генератор управляющих импульсов; *2* — передатчик; *3* — направленная передающая антенна; *4* — отражающая среда (препятствие); *5* — направленная приемная антенна; *6* — приемник; *7* — индикатор;
а — к горизонтально отклоняющим пластинам (линия развертки); *б* — к вертикально отклоняющим пластинам (зондирующий и отраженные импульсы.

отразились обратно от препятствия (объекта, цели), находящегося на предельном для данной станции расстоянии]. Приемник радиолокационной станции работает в промежутках между импульсами. Таким образом, передатчик не мешает наблюдению отраженных импульсов. Для того, чтобы отраженные импульсы были более сильными, энергия, излучаемая передатчиком, концентрируется с помощью специальных направленных антенн в узкие пучки, подобные лучам прожек-

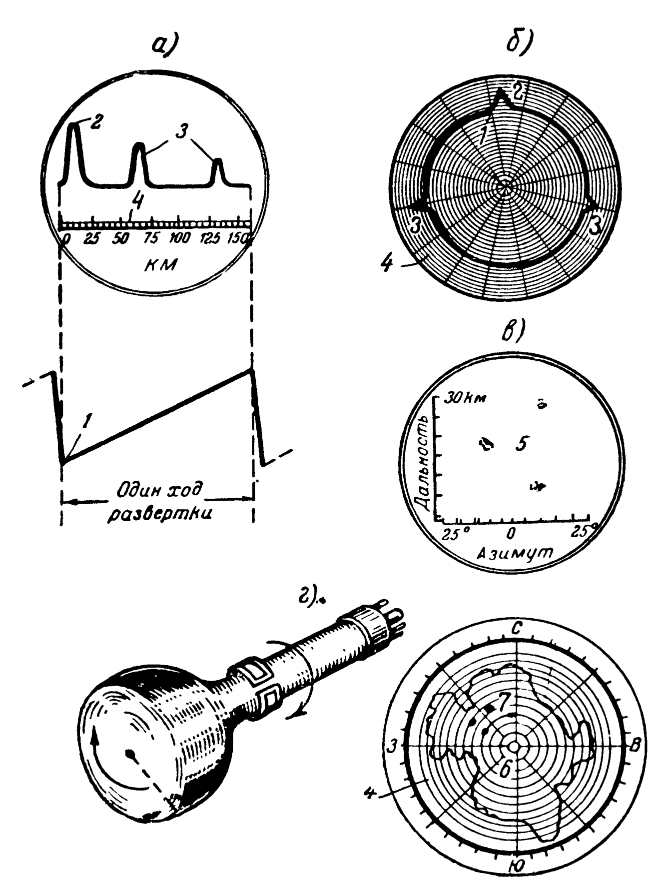
торов. Радиоволны в пространстве распространяются со скоростью 300 000 *км/сек*. Если измерить время, в течение которого импульс дошел до цели и вернулся обратно, то, умножив скорость распространения радиоволн на величину времени, можно легко определить расстояние до цели (в *км*).

Но каким образом измерить это время? В зависимости от расстояния до цели это время может исчисляться даже десятками микросекунд. Понятно, что обычные часы и секундомеры в данном случае не пригодны. Только электроннолучевая трубка, «стрелка» которой (электронный пучок) не обладает инерцией, может быть пригодна для таких измерений; поэтому в качестве индикаторов в радиолокационной станции применяются различные типы электроннолучевых осциллоскопов. Вы уже знаете, что если к горизонтально отклоняющим пластинам электроннолучевой трубки приложено пилообразное напряжение, то горизонтальная линия развертки, видимая на экране, в определенном масштабе является линией времени. Масштаб времени определяется длиной горизонтальной линии. Длина же линии зависит от амплитуды пилообразного напряжения и ограничена размерами экрана. Промежутки времени (шкала времени) зависят только от частоты пилообразного напряжения (частота развертки), т. е. от скорости, с которой линия в процессе развертки появляется на экране. Если, например, частота развертки равна 1 000 *гц*, т. е. линия появляется на экране трубки 1 000 раз в секунду, то линия будет выражать точно $^1/_{1000}$ сек. независимо от того, будет ли она занимать весь экран или только небольшую часть его. Точность отсчета времени зависит от длины линии развертки. Чем длиннее линия развертки, тем крупнее масштаб времени, тем большую точность отсчета можно получить. Например, для увеличения точности отсчета времени применяют специальную круговую развертку (фиг. 23,*б*). В этом случае линия развертки на экране видна в виде круга, и, следовательно, длина линии развертки будет в 3,14 раз больше, чем длина линии при обычной развертке. Для того, чтобы понять, каким образом на экране электроннолучевого осциллоскопа можно наблюдать отраженные импульсы и определять время, а следовательно, и расстояние до цели, рассмотрим более подробно работу радиолокационной станции.

Блок-схема (фиг. 22) всех радиолокационных станций примерно одинакова. Радиолокационная станция состоит из передатчика и передающей антенны, приемника и приемной антенны, управляющего устройства (генератор управляющих им-

пульсов) и одного или нескольких индикаторов. Для того, чтобы точно измерить расстояние до цели, нужно точно измерить миллионные доли секунды. Для этого необходимо, чтобы точно работали все основные узлы станции. Передатчик должен излучать импульсы (они называются зондирующими импульсами) точно одинаковой продолжительности и в точно равные промежутки времени. Индикатор должен начинать отсчет времени точно с момента начала излучения зондирующего импульса, а шкала времени должна быть точно постоянной и точно равна промежутку времени между двумя последовательными зондирующими импульсами. Это означает, что работа генератора развертки в индикаторе должна быть точно синхронизирована с работой передатчика, а частота развертки должна быть точно равна частоте повторения зондирующих импульсов. Эта синхронизация выполняется генератором управляющих импульсов, который создает серию точно одинаковых управляющих импульсов и в точно равные промежутки времени. Управляющие импульсы одновременно поступают на модулятор передатчика и генератор развертки индикатора. Таким образом, продолжительностью управляющих импульсов и частотой их повторения определяются продолжительность и частота повторения зондирующих импульсов, излучаемых антенной передатчика, и начало и частота развертки в индикаторе.

В момент поступления управляющего импульса на передатчик последний включается и в пространство начинает излучаться зондирующий импульс. В тот же момент начинается развертка времени на экране электроннолучевой трубки индикатора. На вертикально отклоняющие пластины трубки включен приемник. Приемник расположен близко к передатчику. Небольшая часть энергии зондирующего импульса проникнет в приемник, и на экране индикатора в начале линии развертки появится изображение зондирующего импульса в виде вертикального выброса (фиг. 23,а). С окончанием управляющего импульса передатчик выключается до поступления следующего управляющего импульса. В этот промежуток времени зондирующий импульс распространяется по направлению к цели и продолжается развертка в индикаторе, т. е. продолжается линия времени на экране трубки. Зондирующий импульс достиг цели и отразился от нее. В тот момент, когда отраженный импульс принят приемником, на экране индикатора появляется изображение этого импульса в виде вертикального выброса от горизонтальной линии. Расстояние меж-



Фиг. 23. Что видно на экранах индикаторов.

а — с горизонтальной разверткой; *б* — с круговой разверткой; *в* — с растровой разверткой; *г* — с трубкой кругового обзора.

1 — начало развертки; *2* — зондирующий импульс; *3* — отраженные импульсы; *4* — шкала; *5* — пятна — отражение от целей; *6* — пятно, вызванное излученными импульсами; *7* — точки „изображения“ целей.

ду зондирующим и отраженным импульсом на линии развертки в точности равно времени, в течение которого импульс прошел расстояние до цели и обратно. Время измерено. Умножьте на 300 000 *км/сек*, разделите на 2,— получите точное расстояние до цели. Однако можно вычислений и не производить. Скорость распространения радиоволн постоянна. Шкала времени на экране трубки линейна. Следовательно,

линию развертки можно разделить на равные промежутки: единицы меры длины, например километры, и для быстрого отсчета расстояния на экране трубки укрепить соответствующую шкалу. Если на пути зондирующего импульса встретятся несколько целей, то на экране трубки будет видно соответствующее число отраженных импульсов, расположенных вдоль шкалы. Так как дальность действия радиолокационной станции известна, то шкала на экране трубки отградуирована соответственно предельной дальности. Однако шкалу всегда можно изменить, изменив масштаб времени увеличением или уменьшением амплитуды развертывающего напряжения.

При определении расстояния можно одновременно определить, движется ли цель и в каком направлении она находится. Если цель передвигается, то отраженный импульс на экране индикатора тоже перемещается. Направление на обнаруженную радиолокационной станцией цель (или объект) определяется просто. Передающая и приемная антенны радиолокационной станции обладают направленностью излучения и приема и при работе все время вращаются, ведя поиск цели. В тот момент, когда на экране индикатора появится отраженный импульс, направление антенн указывает и направление на объект. Угол между направлением на какой-либо предмет и направлением на север называется а з и м у т о м. В радиолокационных станциях азимут определяется особым электромеханическим устройством, которое все время указывает направление антенн по отношению к северу.

Существуют, однако, более совершенные индикаторы, которые позволяют определить и расстояние до цели и ее азимут одновременно по изображению на экране индикатора. В таких индикаторах применяется одновременно яркостная модуляция и растровая развертка подобно тому, как это применяется в телевидении. При использовании электроннолучевой трубки с электромагнитным отклонением к отклоняющим катушкам приключены генераторы пилообразного тока, работа которых синхронизируется с работой передатчика и вращением антенны с помощью генератора управляющих импульсов, поэтому растр на экране индикатора появляется несколько тысяч раз в секунду согласованно с частотой повторения зондирующих импульсов и виден на экране все время. Напряжение отраженных сигналов подается на управляющий электрод электроннолучевой трубки и изменяет плотность электронов в электронном пучке, а следовательно, и яркость светового пятна при его движении по экрану. При от-

сутствии отраженного импульса экран освещен ровно. Отраженные импульсы, изменяя плотность электронного пучка, появятся на экране в виде блестящего пятна. Если целей несколько и различной величины, то на экране будет появляться несколько блестящих пятен различной величины (фиг. 23,*в*). Так как антенны радиолокационной станции все время вращаются синхронно с процессом развертки, то местоположение пятен на экране индикатора будет точно соответствовать действительному положению целей (например, флотилии кораблей). Положение пятна по вертикали определяет дальность до цели; положение пятна по горизонтали определяет азимут цели по отношению к местонахождению радиолокационной станции. По размерам пятен можно судить об относительных размерах целей. Экран электроннолучевой трубки данного индикатора должен обладать большим послесвечением. Необходимость этого объясняется тем, что отраженные импульсы появляются на экране на очень незначительное время, в течение которого антенны станции направлены на цель, поэтому яркость его значительно меньше, чем в случае обычного индикатора. Антенны вращаются сравнительно медленно и за то время, пока цель снова «осветится» зонидирующими импульсами, изображение предыдущих отраженных импульсов исчезнет. Если же экран обладает достаточным послесвечением, то отраженные импульсы видны оператору все время. По перемещению пятен на экране индикатора можно наблюдать за перемещением целей. Обычно экран индикатора затемнен, что достигается подачей на управляющий электрод трубки дополнительного запирающего напряжения. Экран «вспыхивает» только с приходом отраженного импульса.

Существует еще более совершенный индикатор, позволяющий не только определять дальность и азимут, но и видеть все то, что находится в пространстве, окружающем радиолокационную станцию (в пределах дальности ее действия). Этот индикатор называется и н д и к а т о р о м к р у г о в о г о о б з о р а. В таком индикаторе, кроме яркостной модуляции, применяется так называемая р а д и а л ь н а я р а з в е р т к а, при которой линия развертки начинается от центра экрана и продолжается до его края. Одновременно отклоняющие катушки вращаются вокруг горловины трубки синхронно с вращением антенн радиолокационной станции. Таким образом, в каждый момент времени направление антенн совпадает с направлением линии развертки на экране трубки. В результате подобной результирующей развертки на экране трубки будет видна

следующая картина (фиг. 23,*г*). В центре экрана будет видно светящееся пятно, соответствующее местоположению радиолокационной станции. Вокруг пятна в разных направлениях и на разном расстоянии будут видны отраженные импульсы в виде световых точек и пятен различной яркости и различной величины. Экран представляет собой как бы карту, на которой видно все то, что находится в «поле зрения» радиолокационной станции. Так как работа всех узлов станции синхронизирована, как и в предыдущих случаях, то все то, что видно на экране, дает правильное представление о том, на каком направлении и на каком расстоянии находится от станции та или иная цель, т. е. можно определить и дальность и азимут. Антенны станции вращаются со скоростью нескольких оборотов в минуту, поэтому с такой же скоростью, очевидно, повторяются на экране и изображения целей. Для того, чтобы они были видны длительное время, в индикаторе кругового обзора применяются трубки, экраны которых обладают большим послесвечением.

Существует очень много типов индикаторов. Различны и картины, видимые на экранах индикаторов. Обо всем рассказать трудно. Я рассказал вам лишь о наиболее характерных примерах применения электроннолучевого осциллоскопа в радиолокации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В брошюре рассказано лишь о наиболее распространенных электроннолучевых трубках, об электроннолучевом осциллоскопе и его основных применениях как в качестве самостоятельного прибора, так и в сочетании с различными радиотехническими средствами. Этим еще не исчерпываются все возможности, которые предоставила нашему зрению современная электронная оптика, имеющая в своем распоряжении такие электроннооптические приборы, как, например, электронный телескоп и электронный микроскоп. С помощью электронного телескопа можно видеть непосредственно или фотографировать далекие предметы в тумане. С помощью электронного микроскопа можно фотографировать, а, следовательно, и видеть такие мельчайшие предметы, какие невозможно увидеть в самый лучший световой микроскоп.

Электронный телескоп (или электронный преобразователь изображений) представляет особую электроннолучевую трубку, которая, принципиально, состоит из тонкого полупрозрачного фотокатода системы электронных линз (электрических или магнитных) и флуоресцирующего экрана. С помощью обычного объектива изображение далекого предмета проектируется на фотокатод. В результате фотоэффекта из каждой точки фотокатода будут вылетать электроны в количестве, пропорциональном интенсивности света в данной точке. Таким образом, изображение предмета на фотокатоде является как бы источником, испускающим электронные лучи. Эти лучи фокусируются системой электронных линз на флуоресцирующем экране, создавая на нем видимое изображение далекого предмета. Если фотокатод изготовить из материала, чувствительного к инфракрасным лучам, хорошо проникающим через туман, то изображение далекого предмета, полученное в инфракрасных лучах, невидимых глазом, преобразуется в видимое изображение на экране электронного телескопа.

Электронный микроскоп принципиально представляет электроннолучевую трубку с магнитной фокусировкой, но по конструкции и внешнему виду отличается от нее. Схематически он состоит из источника электронов и трех магнитных линз: конденсатора, объектива и окуляра. Электронные лучи фокусируются конденсорной линзой на исследуемом предмете и, проникая через него, задерживаются и рассеиваются в соответствии с плотностью отдельных частей предмета. С помощью объектива и окуляра увеличенное силуэтное изображение предмета фокусируется на фотопластинке, помещенной после окуляра. Электронные лучи оказывают на фотопластинку такое же действие, как и световые лучи — на пластинке получится силуэтное изображение исследуемого предмета, подобное рентгеновскому снимку. Современные электронные микроскопы имеют громадное, более 100 000, увеличение, что привело и приведет в будущем к целому ряду новых научных открытий.

СОДЕРЖАНИЕ

Отечественные электроннолучевые трубки

Тип	Диаметр экрана в *мм*	Максим. напряжение в *в*	Основное применение	Цвет свечения экрана	Отклонение	Фокусировка
ЛО-705	78	1 200	Осциллограф	Зеленый	Электростатическое	Электростатическая
ЛО-706	78	1 200	"	Синий	"	"
ЛК-707	230	6 000	Телевидение	Белый	Магнитное	"
ЛК-708	129	3 000	"	"	"	"
ЛО-709	135	2 000	Осциллограф	Зеленый	Электростатическое	"
ЛО-710	135	2 000	"	Синий	"	"
ЛО-711	135	5 000	"	"	"	"
ЛО-712	135	5 000	"	Зеленый	"	"
ЛО-713	78	3 000	"	Синий	"	"
ЛО-714	112	12 000	Телевидение	Зеленый	Магнитное	"
ЛК-715	172	3 500	"	Белый	"	Магнитная
ЛО-716	53	600	Осциллограф	Зеленый	"	"
ЛО-717	238	7 000	"	"	Электростатическое	Электростатическая
ЛК-718	135	2 000	Телевидение	Белый	"	"
ЛО-719	78	1 200	Осциллограф	Светлозеленый	"	"
ЛО-720	78	1 200	"	Белый	"	"
ЛО-721	135	2 000	"	"	"	"
ЛК-722		1 200	Передвижная студия	—	Магнитное	"
ЛК-726	172	3 500	Телевидение	Зеленый	"	"



Цена 2 руб.